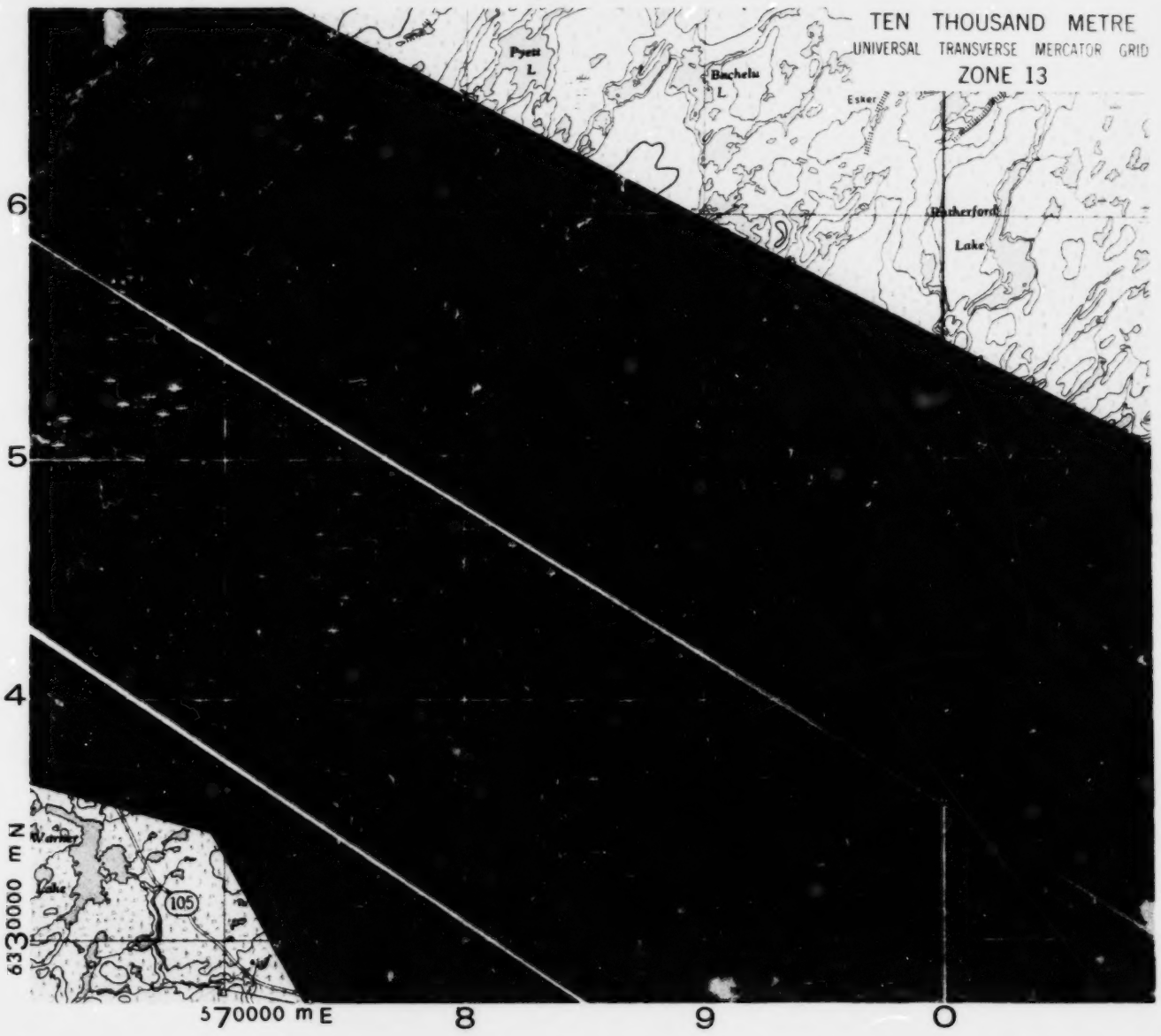
DONNÉES SOMMAIRES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES RELEVÉES À PARTIR DES IMAGES LANDSAT

Rapport final d'une étude pilote portant sur le nord de la Saskatchewan

Z.D. Kalensky, W.C. Moore, G.A. Campbell, D.A. Wilson, et A.J. Scott



Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Chalk River (Ontario) Canada

Rapport d'information PI-X-5(F)

87-01477/

DONNÉES SOMMAIRES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES RELEVÉES À PARTIR DES IMAGES LANDSAT

Rapport final d'une étude pilote portant sur le nord de la Saskatchewan

Z.D. Kalensky, W.C. Moore, G.A. Campbell
D.A. Wilson et A.J. Scott

Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario) Canada

Service canadien des forêts
Environnement Canada

Rapport d'information PI-X-5(F)

1981

Publication autorisée par le ministre,
Environnement Canada

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1981
N° de catalogue Fo46-11/5-1981F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-91110-5

Des exemplaires de cette publication peuvent
être obtenus à l'adresse suivante:

Centre de distribution des publications
Institut forestier national de Petawawa
Environnement Canada
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

This publication is available in English
under the title *Summary Forest Resource Data from Landsat Images*

Résumé

Les objectifs de cette étude pilote étaient d'examiner l'utilité des images multispectrales Landsat aux fins de la classification des forêts de la zone transitionnelle septentrionale, de recommander une méthode applicable à une exploitation opérationnelle, d'en estimer le coût, la durée et la main-d'oeuvre requise.

On a choisi, pour les besoins de l'étude, une zone d'essai de 2 400 km² située en Saskatchewan par 57° de latitude. Des sols soumis périodiquement à l'effet du gel, des croupes basses, d'anciens brûlis, le muskeg, des marais et nombre de lacs caractérisent la zone en question. Le climat rigoureux et la fréquence des feux affectent la croissance du couvert végétal. Selon l'endroit, la forêt dense constituée en majeure partie de conifères alterne avec le muskeg où les arbres sont clairsemés et avec les broussailles.

Un système interactif de traitement numérique d'images nommé ARIES ("A Resource Image Exploitation System") fut utilisé pour le traitement des données multispectrales Landsat. Le traitement de sections d'une même image Landsat, de même que celui de combinaisons de ces sections captées à des dates différentes, comportait diverses étapes: redressement géométrique, accentuation des images par transformation des composantes principales, classifications dirigées et non dirigées. Un processeur microprogrammable spécialisé dans le traitement des matrices a permis un traitement rapide des données. Un système numérique de photographie DICOMED a servi à reproduire les résultats sur pellicule couleur.

Les résultats furent corrigés géométriquement et alignés à la grille UTM. Ils consistaient en images thématiques (catégorisées) assortit d'un code de couleurs représentant les diverses classes de forêts, et en tables sommaires donnant les résultats partiels pour chaque case de 10 km/10 km de la grille UTM. Des analyses portant sur les coûts et sur la précision concluent ce rapport.

Abstract

The objectives of this pilot study were to examine the usefulness of Landsat multispectral images for forest classification in the northern, transitional forest zone, to recommend a procedure suitable for an operational use, and to estimate its cost, time, and manpower requirements.

A test area of 2 400 km² at 57° latitude in Saskatchewan has been selected for this pilot study. It is characterized by sporadically frozen soils, low ridges, old burn sites, muskeg, swamps, and many lakes. Forest growth is affected by adverse climatic conditions and frequent fires. Depending on the site, the closed, mostly coniferous forest alternates with sparsely treed muskeg and shrubs.

A Resource Image Exploitation System (ARIES) is an advanced, interactive, digital image processing system used for computer-aided processing of Landsat multispectral data. The processing of single-date Landsat subscenes, as well as their multidate combinations, included geometric rectification, image enhancement by principal component transformation, and unsupervised and supervised classifications. The speed of data processing has been significantly increased by the use of a programmable array processor. The DICOMED colour film recorder was used for hard-copy image outputs.

Results were geometrically corrected and referenced to the UTM grid. They consisted of thematic (categorized) film images with colour-coded forest classes and of summary tabulations for each 10 km × 10 km UTM grid cell. Cost and accuracy analyses conclude this report.

Table des matières

Résumé/Abstract iii

Introduction 1

Description de la zone d'essai 2

Données à traiter 2

Description du système ARIES de traitement des images numériques 3

Méthodologie de la classification des forêts à partir de données Landsat 4
- Redressement géométrique 4
- Accentuation des images 7
- Classification des scènes 8
- Planimétrie des classes 10

Résultats 10

Discussions et recommandations 11

Résumé et conclusions 16

Bibliographie 17

Appendices
1. Système de données sur les ressources forestières du Canada et système de grilles de référence UTM 19
2. Transformation des composantes principales 21
3. Classification dirigée utilisant la règle de la vraisemblance maximale 23
4. Tableaux des zones d'essai par quadrilatères de 10 km 25
5. Glossaire de la télédétection et des termes cartographiques utilisés dans les inventaires des ressources 31

Tableaux
I. Sommaire des résultats des classifications par méthode 12
II. Sommaire des résultats des classifications par grille UTM de 10 km x 10 km – classification dirigée bidatationnelle 12
III. Matrice de corrélation comparant des classifications dirigées unidatationnelles et bidatationnelles 13
IV. Matrice de corrélation comparant la classification dirigée unidatationnelle avec les données connues au sol pour les zones de contrôle 13
V. Matrice de corrélation comparant la classification dirigée bidatationnelle avec les données connues au sol pour les zones de contrôle 14
VI. Matrice de corrélation comparant la classification dirigée tridatationnelle avec les données connues au sol pour les zones de contrôle 14

Figures
1. Position de la zone d'essai 2
2. Accentuation photographique aux fins d'interprétation visuelle 3

3.	Une méthode d'interprétation visuelle	5
4.	Organigramme du traitement interactif des images numériques	6
5.	Image accentuée par la transformation des composantes principales modifiée	7
6.	Classification non dirigée des données multispectrales unidatationnelles (été)	8
7.	Hiérarchie des classes compatible avec le traitement des images numériques multispectrales de Landsat	9
8.	Classification dirigée des données multispectrales unidatationnelles (été)	10
9.	Classification dirigée des données multispectrales bidatationnelles (printemps-été)	10
A-1	(Appendice 1). Coordonnées UTM systématiques	19
B-1	(Appendice 2). Analogie géométrique de la transformation des composantes principales	21

DONNÉES SOMMAIRES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES RELEVÉES À PARTIR DES IMAGES LANDSAT

Z.D. Kalensky, W.C. Moore, G.A. Campbell, D.A. Wilson, et A.J. Scott

Introduction

On manque d'informations sûres portant sur les ressources forestières de vastes étendues du territoire canadien. Les méthodes d'inventaire n'ont pas été uniformisées à l'échelle nationale et par conséquent il est difficile de mettre en corrélation les résultats compilés par divers organismes. En outre, on a souvent négligé d'établir une méthode systématique de références géographiques des inventaires forestiers. Par conséquent, même lorsque les inventaires des classes de forêts sont exacts, il arrive qu'ils soient difficiles à trouver (Bonnor, 1978; Bowen, 1978, Honer, 1978).

La situation est plus grave encore dans le cas des terrains forestiers du nord pour lesquels on ne dispose souvent d'aucun inventaire. L'application de méthodes conventionnelles d'inventoriage des forêts dans les zones éloignées du nord prend beaucoup de temps et le processus coûte très cher même lorsque l'échantillonnage sur le terrain est remplacé par la photographie aérienne à basse altitude.

Les inventaires forestiers dans ces zones peuvent être faits plus efficacement s'ils sont fondés sur la méthode de télédétection multiple. La première étape pourrait fournir l'inventaire de reconnaissance dans lequel les terrains forestiers seraient classifiés en catégories principales, savoir résineux, feuillus, peuplements mélangés, régénération, brousse, brûlis et muskeg. Un inventaire aussi vaste pourrait être approprié même dans le cas des forêts à faible rendement et d'accès difficile, où l'abattage et le débusquage sont coûteux et où le transport du bois doit se faire sur de longues distances. D'autre part, la disponibilité d'une catégorisation générale des terrains forestiers dans des zones ayant un meilleur potentiel de récolte, faciliterait la planification de la deuxième étape, c'est-à-dire, la production d'un inventaire détaillé des boisés, inventaire fondé sur la photographie aérienne.

La télédétection par satellite offre la possibilité de faire une catégorisation générale des terrains forestiers. Les travaux de recherche et les projets pilotes effectués et entrepris à l'ancien Institut de gestion forestière (Forest Management Institute) et ailleurs ont démontré qu'on peut traiter par ordinateur les images multispectrales Landsat afin d'obtenir les données de base nécessaires à la première phase de l'inventaire des terrains forestiers (Erb, 1974; Harding et Scott, 1978; Heller, 1975; Howard, 1976; Kalensky, 1974; Kalensky et Sayn-Wittgenstein, 1974; Kan et Dillman, 1975; Kirvida, 1973; Piirvee et Braun, 1978; Schubert, 1978; Thie, 1976).

Le nombre et le type de classes de terrains forestiers ainsi que la précision de leurs classifications sont fonction du type de forêt, de la date de la télédétection, de la qualité des images Landsat et de la méthode de traitement des données. Le système ARIES de traitement des images numériques, destiné principalement à être utilisé en foresterie et complété en 1978, a permis de traiter sur place par ordinateur les données multispectrales Landsat.

En 1977, le Forest Resource Data Program (FRDP) de l'Institut de gestion forestière (FMI) proposait la mise au point d'un système de données sur les ressources forestières canadiennes (CFRDS) (Madill et Bonnor, 1977). Sa principale caractéristique est une base commune de données sur les ressources forestières nationales, base qui consiste en données d'inventaire forestier codées sous forme numérique et transformées en un système normalisé. Les données d'inventaire sont accessibles en spécifiant un endroit déterminé (par référence au système de projection universelle transverse de Mercator [UTM] et/ou aux unités géographiques administratives), et le traitement de ces données est automatisé. La principale source des données à traiter destinées à la base commune de données sur les ressources forestières nationales est constituée par les inventaires forestiers des provinces. Cependant, comme nous l'avons mentionné plus haut, les inventaires forestiers des régions septentrionales du Canada n'ont souvent jamais été faits.

Avec un minimum de données de terrain disponibles dans le cas des vastes régions lointaines du nord, il nous faut appliquer une méthode d'interprétation multiple. L'accentuation photographique couplée à une interprétation visuelle des images Landsat peuvent être efficacement mises à profit en

---

Une première version de ce rapport, parue sous le titre de "Forest Statistics by ARIES Classification of Landsat Multispectral Images in Northern Canada," a été publiée dans les procès-verbaux du 13ième Symposium International sur la télédétection tenu en avril 1979 à Ann Arbor, Michigan, pp. 789-811.

Z.D. Kalensky travaille à l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via Cristoforo Colombo, 426, 00100 Roma, Italy; W.C. Moore, G.A. Campbell, et D.A. Wilson sont à l'emploi de l'Institut national de foresterie de Petawawa à Chalk River, Ontario; A.J. Scott est analyste de systèmes chez DIPIX Systems Ltd., Ottawa, Ontario.

vue d'établir une première classification générale des zones très étendues. Ceci fournit une base sûre servant à l'établissement des priorités pour une classification plus complète par traitement des données numériques multispectrales Landsat enregistrées sur bandes d'ordinateur. Il faut avoir recours à la photographie aérienne pour déterminer les zones d'apprentissage et de contrôle aux fins de la classification assistée par ordinateur, et aux fins d'analyse de la précision, respectivement.

Les objectifs de cette étude pilote visaient à trouver si le système ARIES de traitement des données multispectrales Landsat pouvait catégoriser les territoires forestiers du nord en classes compatibles avec le système CFRDS, et dans l'affirmative, par quelle méthode, avec quel degré d'exactitude et à quel coût. Des résumés du projet du système CFRDS et du système de référence UTM sont donnés à l'appendice 1.

Les discussions qui eurent lieu avec M. R.E. Keen, chef du programme de données sur les ressources forestières, avec le docteur G.M. Bonnor, directeur du projet du système de données sur les ressources forestières et avec M. R.J. Madill travaillant auparavant au même projet, fournirent l'encadrement et l'impulsion nécessaires à cette étude pilote. Nous leur en sommes profondément reconnaissants.

Description de la zone d'essai

La zone assignée pour l'essai de compatibilité des données Landsat catégorisées avec les exigences du CFRDS est située dans la zone forestière transitionnelle septentrionale du nord-est de la Saskatchewan. Elle comprend vingt-quatre cellules UTM de 10km/10km situées entre 57°00′ et 57°30′ de latitude et 103°10′ et 104°00′ de longitude. Sa zone UTM est 13, 560 000 – 610 000 m vers l'est et 6 320 000 m – 6 370 000 m vers le nord. Sa superficie totale est de 2 400 km² (240 000 ha) (Fig. 1).

Figure 1. Position de la zone d'essai.

Des sols soumis périodiquement à l'effet du gel, nombre de lacs, des marais et le muskeg caractérisent la zone d'essai. Le terrain vallonné comporte des dépôts morainiques qui séparent des dépressions à peine drainées. Ces dernières sont remplies de terre organique (tourbe) et les terres élevées sont formées de minces dépôts. Le couvert forestier est fragmenté suite au passage de feux, et les conditions climatiques rigoureuses affectent la croissance des tiges.

Selon l'endroit, la forêt dense composée de conifères alterne avec la forêt clairsemée. Les principales essences parvenues à maturité sont l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) et le pin gris (*Pinus banksiana* [Lamb.]). L'épinette noire prédomine dans toute la zone alors que les peuplements de pins gris poussent sur les dépôts mieux drainés. La forêt clairsemée est formée de brûlis récents, de régénération naturelle, de broussailles, de muskeg où poussent quelques tiges, de petites prairies et de marais.

Données à traiter

Les données à traiter aux fins de la classification des terrains forestiers à partir des images Landsat comprenaient des photographies aériennes, des cartes d'inventaires des forêts, des cartes topographiques, des images Landsat sur film et des bandes magnétiques Landsat. Ces données étaient disponibles pour l'ensemble de la zone d'essai, ce qui était nécessaire si l'on voulait faire une évaluation réaliste des résultats. Il va de soi que la disponibilité de ces données constituait le critère principal qui détermina le choix de la zone d'essai. Les projets futurs seront basés sur seulement 5-10% de données de terrain provenant de photographies aériennes interprétées.

Aux fins du projet pilote, les paramètres les plus précis relatifs aux données de terrain provenaient des photographies aériennes panchromatiques en noir et blanc à l'échelle approximative de 1:20 000. Elles furent prises au cours de l'été de 1975. On utilisa un appareil photogrammétrique 9″ X 9″ et un objectif grand-angulaire.

À partir des photographies mentionnées plus haut, le Service forestier de la Saskatchewan compila les cartes des inventaires forestiers à l'échelle de 1:15 840. Les types de forêts indiqués sur ces cartes correspondent bien (moins de 10% de non conformité) à ce que révèlent les photographies aériennes. Toutefois, les détails étaient trop nombreux pour les comparer directement aux grandes classes dérivées des données obtenues par satellite et il a fallu les compiler de nouveau.

La carte topographique 64E, à l'échelle 1:250 000, a servi à contrôler l'alignement des images obtenues par satellite au système de projection cartographique UTM de 6°. Une carte comportant des grilles UTM, délimitant les bassins de drainage et imprimée sur support transparent, a servi au contrôle cartographique aux fins d'accentuation photographiques des images Landsat sur film (Fig. 2).

Les images Landsat furent obtenues en été, au printemps et en hiver. Elles furent enregistrées par le balayeur multispectral (MSS) Landsat le 14 août 1974, le 11 mai 1975 et le 11 mars 1978. Toutes les photographies d'évaluation furent commandées à l'échelle de 1:1 000 000. Des images en noir et blanc des quatre bandes du MSS furent reproduites sur papier transparent à l'échelle de 1:250 000; les composés couleur des trois bandes choisies furent reproduites sur papier à l'échelle de 1:250 000.

Les bandes Landsat pour ordinateur furent obtenues pour les dates correspondantes à celles où les images sur film furent prises. Les données relatives aux images du balayeur multispectral étaient enregistrées sur des rubans magnétiques à 9 pistes ayant une densité de 1600 bits au pouce.

Description du système ARIES de traitement des images numériques

Le nouveau système perfectionné de traitement des images numériques désigné ARIES, est destiné au traitement interactif, assisté par ordinateur, des données numériques multispectrales. Le système comporte un mini-ordinateur DEC PDP-11/40 avec 96K mots de mémoire et le matériel périphérique usuel.

Les images numériques sont stockées sur un disque de 88 millions d'octets et reproduites sur un écran de télévision couleur CONRAC avec la possibilité de surimposer des éléments graphiques entrés manuellement. La scène affichée peut également être déplacée, mise en gros plan et permutée. Ces diverses possibilités de modifier la présentation des images facilitent l'établissement des corrélations entre la scène affichée et les données de terrain. Par conséquent, le choix des zones d'apprentissage et de contrôle pour la classification dirigée des scènes est plus facile, et leur identification sur l'image affichée par l'écran cathodique est plus précise. En outre, toute grille de coordonnées rectiligne, identifiée par une série de points de contrôle, peut être superposée sur la scène affichée.

Un élément unique du système ARIES est son processeur micro programmable ("Flexible Processor" de Control Data Corp.) qui augmente réellement la vitesse des calculs répétitifs. Une telle configuration est particulièrement adaptée au traitement des images parce que l'énorme quantité de données en cause nécessite une vitesse de traitement élevée et une bonne souplesse dans la manipulation des données. À titre d'exemple, le temps de traitement requis pour une classification dirigée des images au moyen d'un classificateur de vraisemblance maximale utilisant le PDP-11/40 fut réduit approximativement de 100 fois en utilisant le processeur microprogrammable (FP). Cette grande vitesse de calcul distingue le système ARIES de la plupart des autres systèmes de traitement d'images numériques, et de ce fait le rend plus adapté aux usages opérationnels qu'aux travaux de recherche. De plus, le processeur microprogrammable est muni d'une mémoire de 64K mots de 16 bits utilisée soit pour le calcul matricielles, soit pour regénérer l'image de l'écran couleur et permettre interactivement la super position d'éléments graphiques.

Un système numérique de photographie DICOMED sert à reproduire les images en noir et blanc ou en couleurs sur pellicule ou film polaroid de 70 mm. Les images sur pellicule peuvent être agrandies photographiquement jusqu'à une échelle standard. La précision géométrique de l'enregistrement DICOMED est de 0.25%. Les images peuvent également être

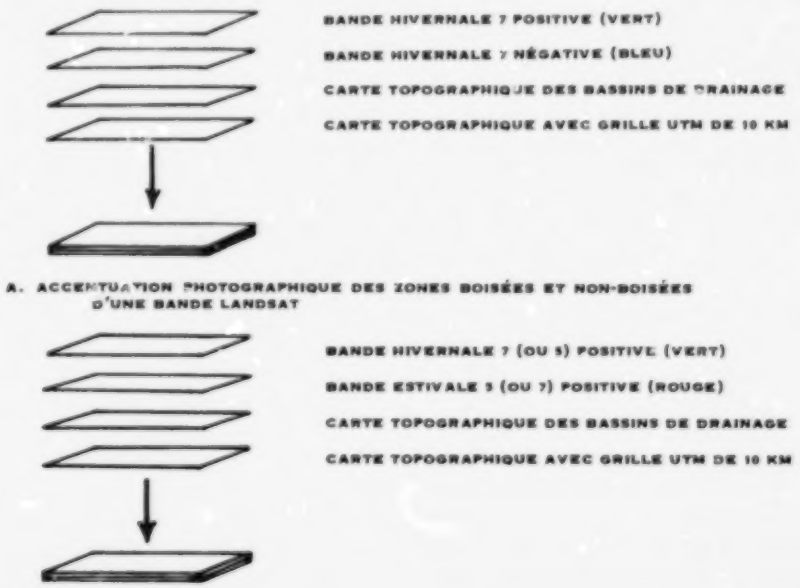


Figure 2. Accentuation photographique aux fins d'interprétation visuelle.

reproduites par l'imprimante graphique VERSATEC sous forme d'épreuves à faible résolution en noir et blanc. Un visuel graphique Tektronix permet l'interaction entre l'utilisateur et le système, ainsi que la présentation d'histogrammes et de graphiques de dispersion. Une copie de l'écran cathodique peut être obtenue sur l'imprimante graphique VERSATEC. Un logiciel élaboré spécialement conçue pour la cartographie de la végétation et la détection de changements complète le système ARIES.

Méthodologie de la classification des forêts à partir de données Landsat

Tout projet de classification des ressources fondée sur les données Landsat devrait commencer par l'interprétation des images photographiques Landsat. Ces dernières coûtent relativement peu et elles permettent une stratification rapide d'une scène Landsat (185 km X 185 km) en quatre catégories:

a) zones couvertes par les nuages ou par l'ombre qu'ils projettent, ou zones dont l'image est de trop piètre qualité pour qu'on puisse en faire l'interprétation

b) zones sans intérêt pour cette application particulière

c) zones où l'information peut être obtenue par interprétation visuelle des images Landsat ou par leur accentuation photographique ou optique

d) zones choisies pour un traitement numérique à l'aide de l'ordinateur

Les catégories a) et b) sont des étapes logiques qui s'expliquent d'elles-mêmes. Pour ce qui touche la catégorie c), des combinaisons choisies de bandes spectrules d'image furent agrandies par procédé photographique à l'échelle de 1:250 000. Ceci fut réalisé en alignant les tracés de drainage évidents sur les épreuves avec les tracés de drainage provenant de la carte topographique 64E. Ces derniers étant exprimés en référence à la grille UTM de 10 km, les images Landsat le devinrent aussi par conséquence. Les images Landsat, leurs combinaisons multidatationnelles, et leurs accentuations en couleurs furent reproduites photographiquement. Les combinaisons utilisées sont indiquées à la figure 2. On utilisa des diapositives plutôt que des imprimés aux fins d'interprétation étant donné que les diapositives donnent une meilleure résolution et révèlent des contrastes mieux définis. L'interprétation et les mesures de surface des zones séparables sur les images accentuées furent faites manuellement. Ces surfaces furent mesurées avec l'aide d'une grille de 1 km superposé à la grille UTM de 10 km (Fig. 3).

En ce qui concerne la catégorie d), le traitement des images assisté par ordinateur permet une classification plus détaillée des données multispectrales enregistrées par Landsat. Selon la méthode exploitée, un tel traitement peut non seulement différencier les classes mais également estimer la surface qu'elles représentent. Cette dernière opération revêt une importance particulière pour le système de données relatives aux ressources forestières du Canada (CFRDS). La différentiation des classes et l'estimation de leur surface (deux opérations automatisées) pour chaque cellule UTM de 10 km constituaient l'un des objectifs de cette étude. Les méthodes automatisées devaient être employées le plus possible étant donné la vaste étendue des zones forestières pour lesquelles les données Landsat constituent la source la plus récente, et souvent la seule source d'informations précises.

La méthodologie du traitement des images numériques suivie dans cette étude est résumée par un organigramme présenté à la Figure 4. Elle est fondée sur l'interaction entre l'interprète forestier et le système ARIES. Le traitement interactif des images numériques Landsat est une importante nécessité dans le domaine de la classification des forêts vu le manque d'homogénéité spectrale et spatiale des grandes classes forestières. Une méthode pleinement automatisée donnerait de fréquentes erreurs de classification résultant des effets de la composition des peuplements, de la faible densité de ces derniers, de la topographie, etc., sur la réflectance obtenue des zones terrestres correspondant aux éléments de base de l'image (pixels).

Les méthodes de traitement numériques exploitées dans cette étude peuvent être divisées en quatre groupes selon le but visé: a) redressement ou rectification géométrique (des données multispectrales Landsat); b) accentuation des images; c) classification des scènes; d) planimétrie des classes.

Redressement géométrique

Les corrections géométriques et radiométriques normalisées furent appliquées aux données lors de la création des bandes magnétiques. Quoique ces corrections permettent de rectifier la distorsion géométrique générale des données multispectrales brutes Landsat et qu'elles rétablissent la relativité des projections orthogonales entre l'image et le terrain réel, l'erreur de position peut aller jusqu'à 10 km.

Des bandes magnétiques Landsat dont les images multispectrales ont subit des corrections géométriques précises sont maintenant disponibles au Centre canadien de télédétection (CCRS). La géométrie de l'image a été modifiée de façon à correspondre à la projection cartographique UTM de 6°, et les pixels originaux (éléments nominaux de résolution du terrain de 56 m X 79 m) furent échantillonnés de nouveau afin qu'ils correspondent à une surface de 50 m X 50 m. En outre, les scènes Landsat furent sectionnées afin qu'elles correspondent à la grille des coordonnées des cartes topographiques à une échelle de 1:250 000. Chacun de ces nouveaux rubans magnétiques contient donc des images multispectrales qui ont été transformées, ré-échantillonnées et reformées de manière à correspondre à un quadrant d'une carte à l'échelle de 1:250 000. Ainsi, les données-image enregistrées sur les nouvelles bandes font référence à une carte maîtresse (et donc à la grille de coordonnées UTM) plutôt qu'aux paramètres orbitaux changeant du satellite. Cette méthode facilite le transfert des données interprétées à un système de données de gestion des ressources tel que le CFRDS.

Dans notre étude, la correction géométrique de précision fut faite avec ARIES en utilisant son progiciel d'alignement d'images. Les coefficients d'une transformation affine furent calculés à partir des coordonnées UTM et des coordonnées-image pour 20 à 30 points de contrôle répartis uniformément sur toute la zone d'essai. Les coordonnées UTM furent prises sur des cartes SNRC (Système national de référence cartographique) d'une échelle de 1:50 000. Les coordonnées-image (ligne, pixel) furent obtenues automatiquement en localisant les points de contrôle, au moyen d'un curseur, sur l'image agrandie reproduite sur l'écran-couleur. Les valeurs (multispectrales) des nouveaux pixels ré-échantillonnés furent calculées à partir des valeurs de 16 pixels originaux voisins en appliquant une technique de convolution cubique. La grille UTM peut être superposée en tant que thème distinct aux images reproduites sur l'écran de télévision couleur de même qu'aux images reproduites sur film. Cette technique facilite l'établissement des corrélations entre les images, la carte et les tableaux numériques sommaires (par rapport aux grilles UTM de 10 km) du CFRDS (Moore et Bonnor, 1979).

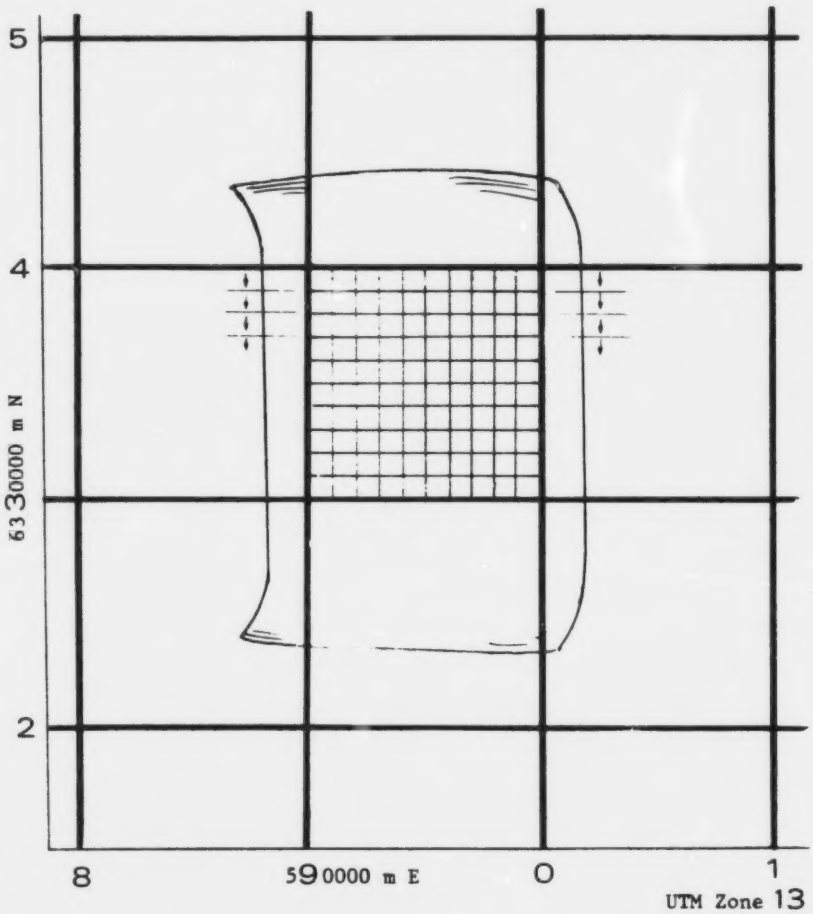


Figure 3. Une méthode d'interprétation visuelle. Il existe 918 cartes publiées de la Série topographique nationale (NTS) à l'échelle de 1:250 000 pour couvrir tout le Canada. Chaque carte contient la grille UTM de 10 km (illustrée ci-dessus). Cette grille peut facilement être surimprimée sur l'imagerie Landsat qui est agrandie à l'échelle par procédé photographique en alignant les tracés de drainage ou tout autre tracés propres à la fois aux cartes et à l'imagerie. Une pellicule transparente (ci-dessus) peut être déplacée, et alignée avec les quadrilatères de 10 km pour obtenir les sommaires. Les pourcentages de surface (par classe ou caractéristique) par grilles UTM de 10 km sont ainsi rapidement disponibles (par exemple, on peut faire le total des estimés pour une ligne de 10 quadrilatères de 1 km^2). Notons qu'il y a environ 2200 quadrilatères UTM (10 km X 10 km) au nord du 56°N en Saskatchewan. On propose donc cette méthode d'interprétation visuelle pour obtenir des catégorisations générales assez rapides de vastes zones. Il faut en outre choisir des zones pour des analyses numériques plus complètes.

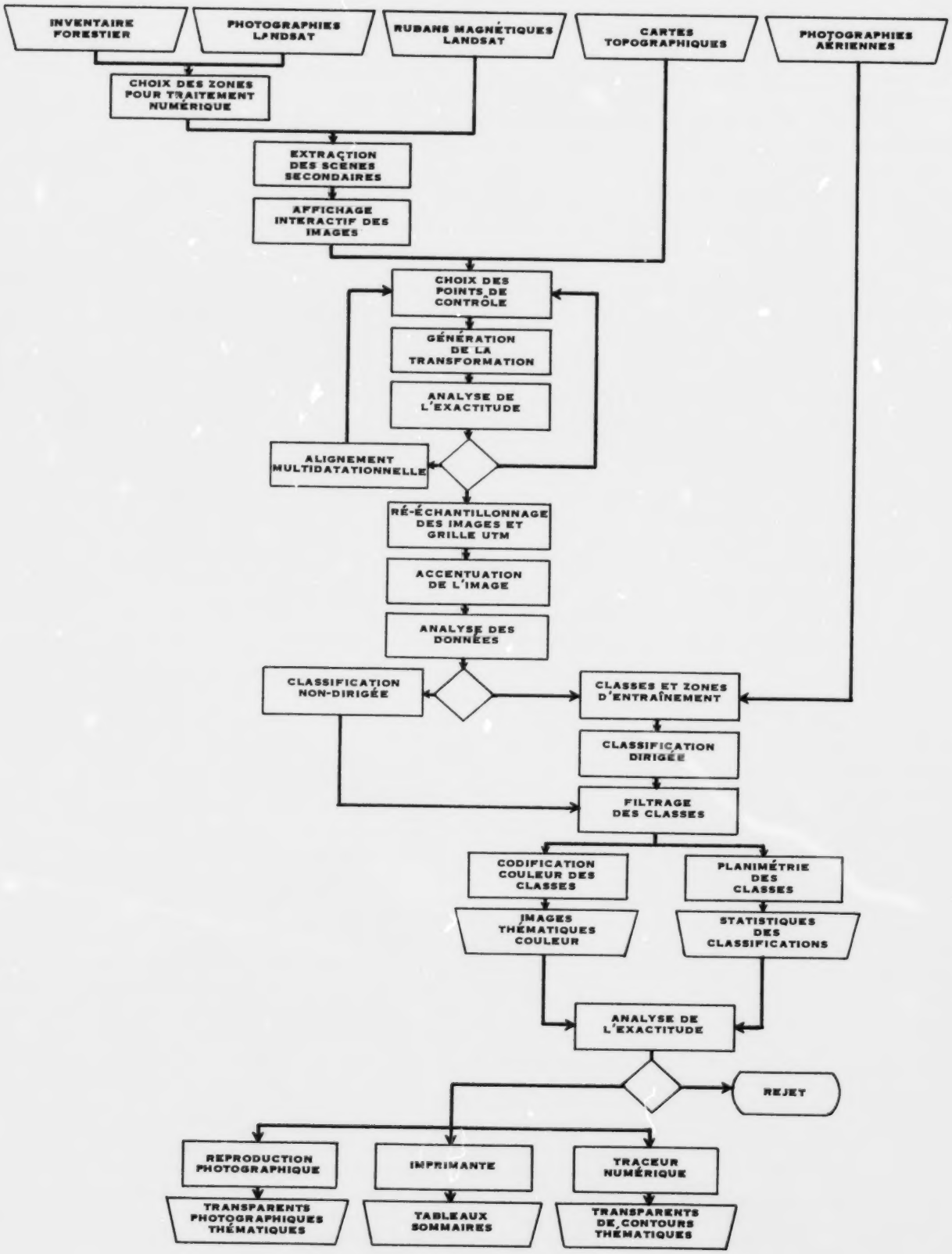


Figure 4. Organigramme du traitement interactif des images numériques.

On a fait l'alignement d'images similaires prises à des dates différentes (scènes Landsat) en alignant certains détails avec l'image déjà rectifiée. Les mêmes points de contrôle devraient être utilisés pour les nouvelles scènes chaque fois qu'il est possible de le faire. Leur identification en hiver peut s'avérer difficile et il se peut que des points de contrôle supplémentaires soient requis pour remplacer ceux qu'on ne peut localiser. Les pointes boisées et les anses qui coupent les rives des nombreux lacs du nord canadien constituent généralement de bons points de contrôle du fait qu'on peut les localiser facilement sur les cartes de même que sur les images Landsat prises tant en été qu'en hiver.

Accentuation des images

La différentiation des classes et la tabulation de leurs superficies par ARIES constituaient l'un des principaux objectifs de cette étude. L'accentuation des images multispectrales Landsat n'était qu'une étape intermédiaire devant faciliter la prise de décisions sur le nombre et le type de classes vraisemblablement différentiable de même que sur le choix des zones d'entraînement et de contrôle utilisées lors de classifications dirigées. On n'a pas tenté de faire l'interprétation manuelle des images accentuées.

Deux méthodes d'accentuation furent exploitées: l'augmentation des contrastes et la transformation des composantes principales modifiés. Ces deux méthodes font partie du progiciel ARIES.

L'augmentation des contrastes fait usage de la partie non utilisée de la gamme de luminosité (de 0 à 255) des données multispectrales Landsat. Les analyses des histogrammes de nos zones d'essai démontrèrent qu'environ la moitié seulement de la gamme ci-dessus était utilisée par des données utiles dans chaque bande spectrale. Cet intervalle efficace des luminosités fut allongé afin de combler la gamme disponible de 256 valeurs d'intensité, augmentant ainsi le contraste des images.

L'avantage de la transformation des composantes principales vient du fait que des ensembles de données corrélatifs sont transformés en de nouveaux ensembles de données indépendants. Une analogie géométrique serait la transformation d'un ensemble de données dans un nouveau système de coordonnées qui s'adaptent mieux à la configuration de l'ensemble d'origine, minimisant ainsi ses écarts types dans tous les plans. Après la transformation des composantes principales, un ensemble de données peut être représenté par un plus petit nombre de plans sans qu'il y ait perte de renseignements pertinents (Newnham, 1968).

Une procédure modifiée de transformation des composantes principales est disponible dans le progiciel ARIES. Elle a été conçue de manière à accentuer seulement des types choisis de couverts et d'utilisations des terres plutôt que l'ensemble des données multispectrales. L'orientation de l'accentuation est déterminée par la situation géographique des zones d'entraînement qui devraient surtout contenir (mais non exclusivement) les types choisis de couverts et d'utilisations des terres. Des composantes sont obtenues pour chacune des zones d'entraînement et l'on en choisit trois pour créer l'image-couleur améliorée. La composante la plus appropriée devrait moduler la luminosité, la deuxième le rouge-vert, et la troisième le bleu-jaune. Cette combinaison s'est révélée fournir une bonne image relativement à la perception visuelle humaine (Taylor, 1974; Kourtz et Scott, 1978). La Fig. 5 donne un exemple d'accentuation d'image par la méthode modifiée de transformation des composantes principales. La méthode standard de même que la méthode modifiée sont décrites plus en détail à l'appendice 2.

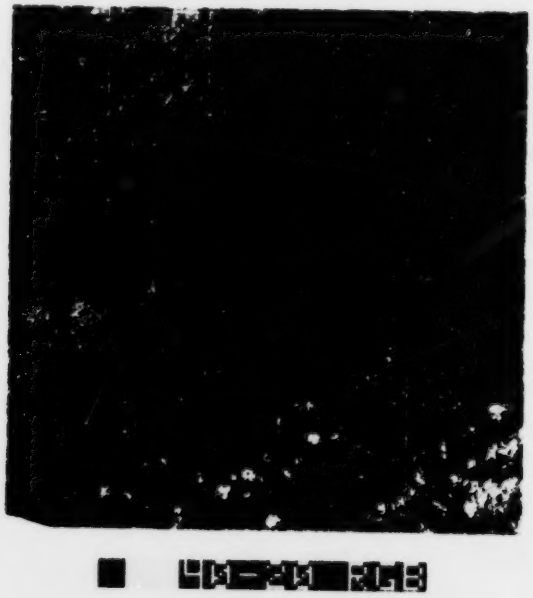


Figure 5. Image accentuée par la transformation des composantes principales modifiée.

Classification des scènes

La classification des scènes comprenait la classification non dirigée d'une scène partielle Landsat de même que des classifications dirigées effectuées sur des scènes uniques et sur des combinaisons de scènes prises à des dates différentes.

Le classificateur non dirigé ne se sert pas des données de terrain en vue de déterminer les statistiques des classes. Il établit plutôt un histogramme à partir de l'ensemble des données d'entrée multidimensionnelles et il identifie les valeurs de crête de cet histogramme. Des paramètres statistiques (valeurs moyennes et écarts types) sont alors calculés pour chaque crête. Dans le cas du système ARIES, on peut réduire le nombre de catégories (crêtes) en augmentant le nombre d'écarts types à prendre en considération. À ce point-ci, on peut retenir quelques-unes des crêtes alors qu'on peut en fusionner ou en supprimer d'autres. Cette opération est suivie d'une classification par parallélépipèdes rectangles ayant pour seul objet la production de zones hypothétiques d'entraînement pour le calcul des paramètres statistiques devant servir à la classification non dirigée par vraisemblances maximales. Une fois la classification terminée, les zones isolées de moins de quatre pixels ré-échantillonnés (i.e. 1 ha) furent assignées aux classes majoritaires environnantes. On donna ensuite une cote de couleur aux catégories et les images thématiques furent reproduites par le DICOMED (Fig. 6, été). Les catégories tirées de la classification non dirigée peuvent ne pas correspondre directement aux classes de terrain. Deux catégories ou plus peuvent correspondre à la même classe de sol, ou alternativement, une catégorie peut représenter de nombreuses classes de terrain (Letts, 1978).

La classification dirigée de vraisemblances maximales nécessite la connaissance des zones d'entraînement (données de terrain) à partir desquelles on peut dériver les paramètres statistiques de chaque classe. Ces paramètres sont: le vecteur spectral moyen, représentant la valeur moyenne de la classe dans un espace multispectral, et la matrice de covariance, qui est une mesure de la dispersion de la classe. Les calculs des courbes normales de densité (de probabilité) sont fondés sur ces deux paramètres. Celles-ci s'approchent de la distribution des données dans les classes respectives, fournissant ainsi des modèles pour le classement des pixels dans les classes auxquelles ils appartiennent le plus probablement (Kalensky, 1974). Une description plus détaillée de la classification dirigée en appliquant le principe de la vraisemblance maximale est donnée à l'appendice 3.

Le logiciel ARIES permet la classification dirigée d'un total de 16 thèmes. La hiérarchie des classes, compatible avec le traitement des images numériques des données multispectrales Landsat, est présentée à la Fig. 7. Les zones d'entraînement furent choisies sur les cartes d'inventaires et vérifiées à l'aide des photographies aériennes avant d'être transférées à l'image Landsat reproduite sur l'écran de télévision couleur. En plus des zones d'entraînement, des zones de contrôle furent également déterminées pour chaque classe aux fins d'évaluation de l'exactitude. La disponibilité des images accentuées décrites plus haut, rendirent le choix des zones d'entraînement plus facile et plus rigoureux. La classification dirigée fut menée avec trois ensembles différents de données multispectrales: une scène unique (été), la même scène prise à deux différentes saisons (été et printemps), et à trois différentes saisons (été, printemps et hiver). La classification terminée, les parcelles de classes isolées comportant moins de quatre pixels ré-échantillonnés (1 ha) furent assignés aux classes majoritaires avoisinantes. Les classes reçurent une cote de couleur et les images thématiques furent reproduites sur pellicule par le DICOMED (Fig. 8, été; Fig. 9, été et printemps).

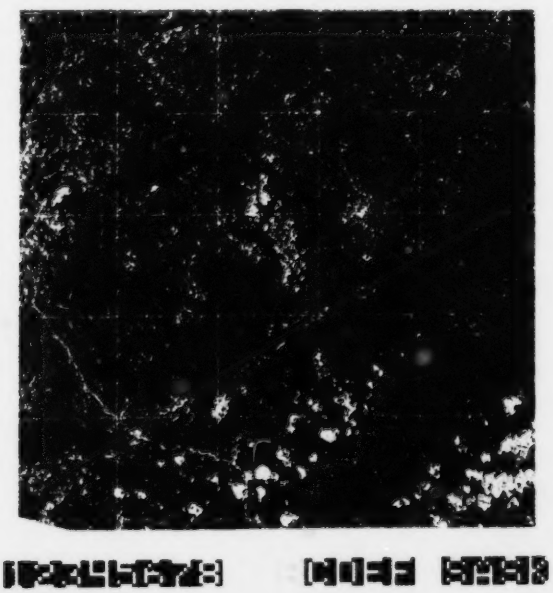


Figure 6. Classification non dirigée des données multispectrales unidatationnelles (été).

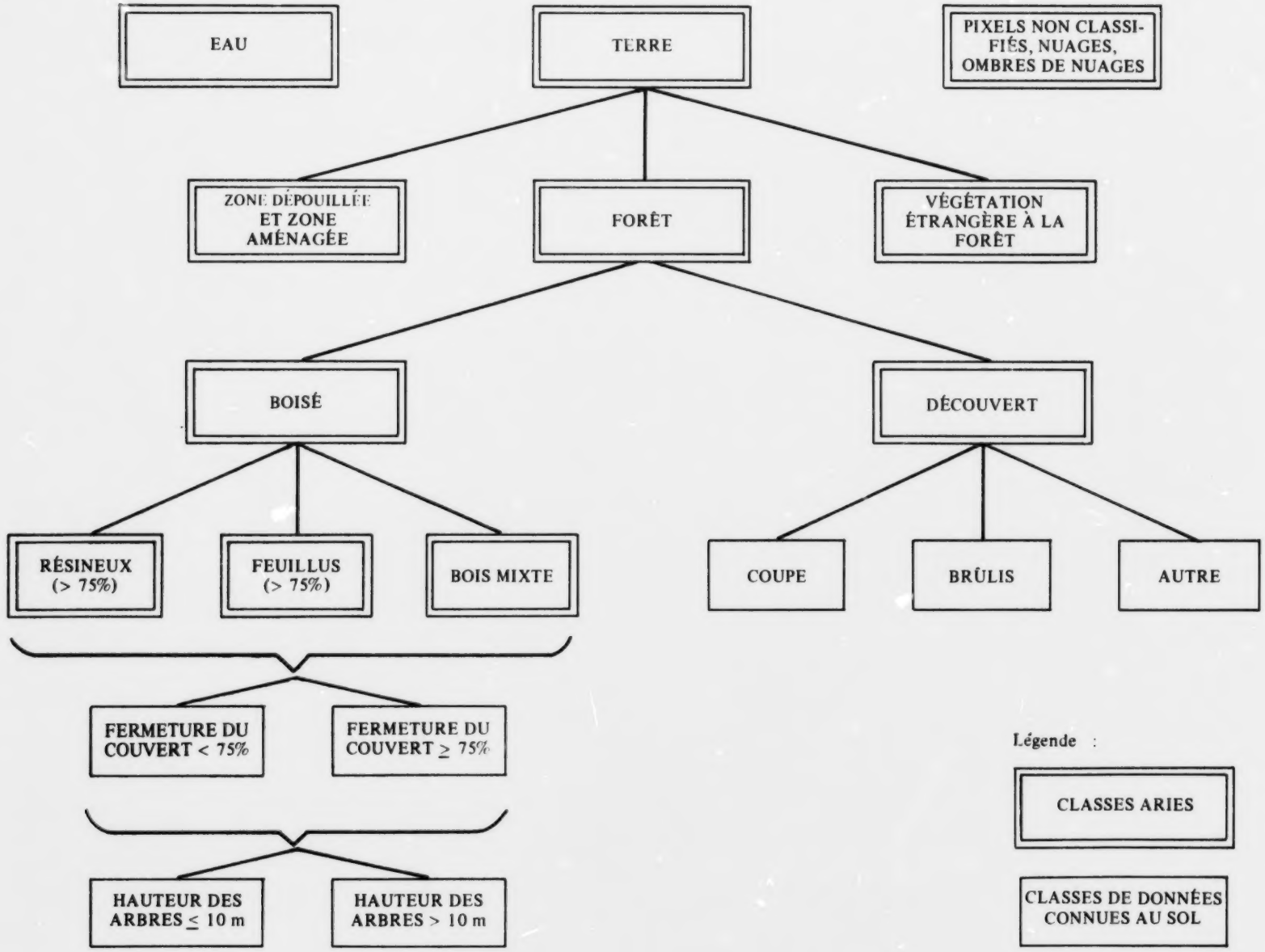


Figure 7. Hiérarchie des classes compatible avec le traitement des images numériques multispectrales de Landsat.

Planimétrie des classes

La planimétrie des classes peut être appliquée uniquement aux résultats de la classification, tant dirigée que non dirigée. Elle comprend le calcul automatisé des surfaces des classes à l'intérieur de tout rectangle déterminé, dans ce cas-ci des grilles UTM de 10 km X 10 km. Les résultats furent imprimés sous forme de tableaux par l'imprimante graphique VERSATEC. La liste ainsi obtenue comprend: le nombre de fichiers et de classes (thèmes), des totaux de pixels ré-échantillonnés (50 m X 50 m) pour chaque classe, leur valeur en hectares et en pourcentages de surfaces couvertes. Les tableaux complets des surfaces des classes pour chacune des méthodes figurent à l'appendice 4.

Résultats

Seuls les résultats représentatifs tirés des nombreuses combinaisons de méthodes de traitement des images et de données d'entrée furent choisis afin d'être inclus dans le présent rapport. Ils servent de base pour une comparaison des méthodes de traitement d'images exploitées et pour l'évaluation de leur utilité relativement aux inventaires forestiers opérationnels. Les résultats sont reproduits sous forme d'images thématiques avec code de couleur (Fig. 4, 5, 7, 8) et sont donnés aux tableaux I-II-III-IV-V et VI.

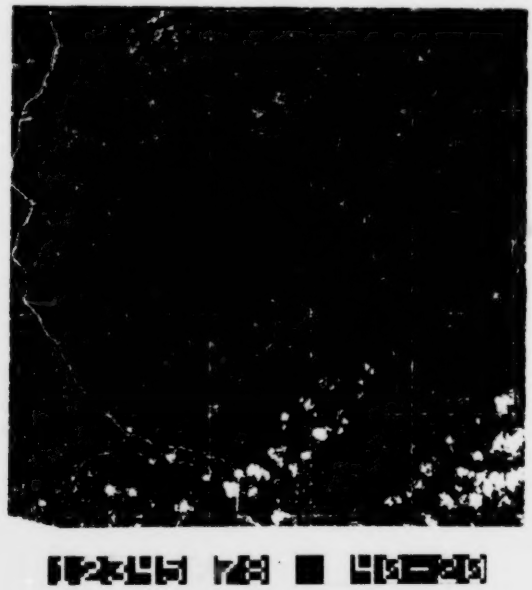


Figure 8. Classification dirigée des données multispectrales unidatationnelles (été). Voir figure 9, pour la cote couleur.

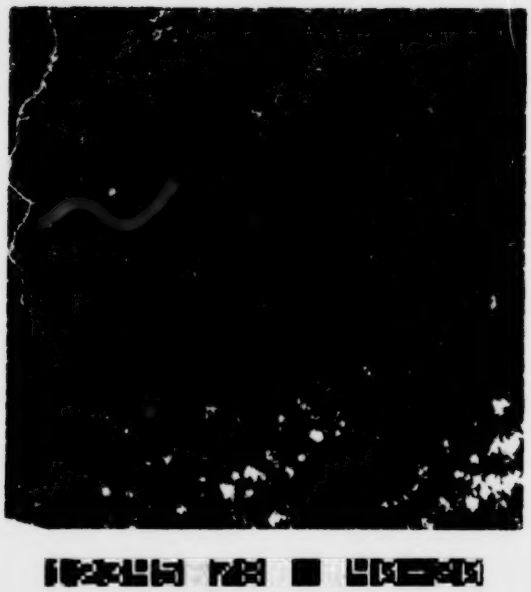


Figure 9. Classification dirigée des données multispectrales bidatationnelles (printemps-été). (1) Vert sombre: résineux. (2) Rouge: régénération de feuillus/broussailles. (3) Vert pâle: régénération de résineux. (4) Pourpre: brûlis récent. (5) Brun: muskeg boisé. (6) Jaune: routes et sols dénudés. (7) Bleu pâle: eau peu profonde et ombre de nuage. (8) Bleu foncé: eau profonde. (9) Blanc: nuages.

Tableau I — Tableau sommaire d'une zone de 2 400 km² comparant le traitement numérique dirigé des rubans Landsat pris à une seule date, à deux et à trois dates différentes, le traitement numérique non dirigé des rubans pris à une seule date, et l'interprétation manuelle des images accentuées par processus photographique, avec la carte des inventaires forestiers

Tableau II — Tableau sommaire des classes, surfaces (en ha et en %) et exactitudes pour chaque cellule UTM de 10 km X 10 km, catégorisées par classifications dirigées effectuées sur la même scène prise à deux dates différentes (été/printemps)

Tableau III — Tableau sommaire généré par ARIES pour une zone d'essai de 2 400 km² comparant les résultats des classifications dirigées effectuées avec la scène d'une seule date et à deux dates différentes

Tableaux IV, V, VI — Matrices de corrélation (confusion) générées par ARIES pour des classifications dirigées effectuées avec une scène d'une seule date, de deux dates et de trois dates, donnant leurs exactitudes respectives évaluées avec les zones de contrôle qui furent déterminées pour chacune des classes indépendamment des zones d'entraînement

Il n'y a pas unanimité en ce qui concerne l'interprétation des résultats des classifications à partir du traitement des images numériques et particulièrement en ce qui touche l'exactitude des classifications. Les tables de corrélation (confusion) sont souvent utilisées comme seul critère d'exactitude. Cependant, plutôt que l'exactitude des classifications, elles démontrent jusqu'à quel point les zones d'entraînement (utilisées pour la production des statistiques nécessaires aux classifications) ressemblent aux zones de contrôle (utilisées pour l'évaluation de l'exactitude). De toute évidence, le même jugement biaisé peut se trouver dans la localisation des zones de contrôle comme dans la localisation des zones d'entraînement. L'obligation d'avoir une distribution au hasard des zones de contrôle est peu pratique dans la partie septentrionale du Canada pour laquelle la disponibilité et la qualité de données de contrôle et d'entraînement, aux fins du traitement numérique des images Landsat, sont limitées. L'utilité des tables de corrélation dépend de l'homogénéité des classes; moins la classe est homogène, moins son exactitude de classification estimée dans la table de corrélation est utile. Vu la complexité des terrains forestiers du nord résultant des conditions climatiques difficiles et des feux fréquents, l'exactitude des classifications dans les tables de corrélation seront souvent surestimées. Cependant, il n'existe pas de meilleur moyen pour effectuer une vérification rapide des résultats de classifications à partir de données Landsat traitées numériquement et pour faire la détection des erreurs grossières (Kalensky et Scherk, 1975).

Le Tableau III établit une intéressante comparaison entre les résultats d'une classification dirigée faite à partir d'une scène unique et celle faite avec la même scène prise à deux dates différentes pour toute la zone d'essai concerné (2 400 km²). Les pourcentages (qui figurent dans la dernière colonne) indiquent une constance dans la classification des scènes à partir des différents ensembles de données (une seule date en regard de deux dates). La faible constance dans la classification dans le cas des classes Routes et Rivières (52% et 51% respectivement) est compréhensible étant donné leur faible largeur, l'effet des classes avoisinantes sur les signatures spectrales des pixels Landsat des routes et des rivières, et la possibilité d'une erreur d'alignement d'un pixel même lorsque le redressement géométrique des deux ensembles de données a été fait avec une précision de ± 0.5 pixel.

Les estimés probablement les plus pertinents relatifs à l'exactitude des classifications obtenues au cours de cette étude figurent au Tableau I. Celui-ci compare les résultats des classifications, lesquels résultats sont résumés pour toute la zone d'essai, avec les cartes des inventaires forestiers. La classification dirigée utilisant deux dates différentes (août-mai) a donné les meilleurs résultats (plus de 90%) pour les quatre classes de forêts (résineux, régénération et broussailles, brûlis récent, sol forestier non productif). Les classes de bois francs et de bois mixtes étaient trop petites et trop éparpillées ou encore trop cachées par les nuages et les ombres pour qu'on puisse établir des zones d'entraînement et de contrôle aux fins de leur classification dirigée. La classe EAU fut surestimée de 43%. Ceci est dû au niveau plus élevé des eaux (les marécages étaient transformés en lac) sur les scènes prises en mai.

La classification non dirigée sur scène unique donna les pires résultats. On croit cependant qu'elle pourra éventuellement donner de meilleurs résultats au fur et à mesure que l'on comprendra toutes les possibilités qu'elle offre.

L'interprétation visuelle des images Landsat en fausses couleurs accentuées par processus photographique et prises à une seule date (mars) et à deux dates (août-mars), ne donna que trois classes, avec l'exactitude globale de leur classification atteignant plus de 90%: sols forestiers pourvus et non pourvus, et eau. L'exactitude relativement élevée de cette méthode était due à un faible niveau de classification. Les sols forestiers dans les deux cas pouvaient être classifiés en sols boisés et en terrains découverts.

Discussions et recommandations

Cette étude a démontré que

(a) la classification des images multispectrales Landsat peut fournir des données utiles, à jour et bien localisé concernant les terrains forestiers du nord du Canada pour lesquels les statistiques, pour peu qu'il y en ait, sont nettement incomplètes;

(b) ces données comprennent les grandes classes forestières et leurs surfaces des grilles de 10 km X 10 km servant d'unité de localisation; la même méthodologie peut servir à contrôler les changements dans ces données;

TABLEAU I

SOMMAIRE DES RÉSULTATS DES CLASSIFICATIONS PAR MÉTHODE

CLASSE / MÉTHODE	RÉSINEUX		FEUILLUS		BOIS MIXTE		RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES		BRÛLIS RÉCENT		SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS		EAU		NON CLASS.
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
CARTE D'INVENTAIRE (2 400 km²)	82 440	100	864	100	3 552	100	57 576	100	3 000	100	55 032	100	37 536	100	—
DIRIGÉE UNIDATATIONNELLE (Août)	77 428	94	—	0	—	0	75 933	132	3 185	106	42 132	77	39 750	106	1 573
DIRIGÉE BIDATATIONNELLE (Août/Mai)	75 720	92	—	0	—	0	53 774	93	3 083	103	52 298	95	53 718	143	1 376
DIRIGÉE TRIDATATIONNELLE (Août/Mai/Mars)	65 453	79	—	0	—	0	43 652	76	3 914	130	47 423	86	75 085	200	4 476
NON DIRIGÉE UNIDATATIONNELLE (Août)	152 333	185	Feuillus et Bois mixte (4 416 ha = 100%) 3 153 ha = 71%				39 287	68	4 174	139	6 026	11	28 992	77	6 043
ACCENTUATION PHOTOGRAPHIQUE / CARTOGRAPHIQUE (Hiver)	Résineux, Feuillus et Bois mixte Peuplements forestiers (86 856 ha = 100%) 94 500 ha = 108%						Sols forestiers à densité de peuplement réduite (115 608 ha = 100%) 105 700 ha = 91%						39 800	106	—
ACCENTUATION PHOTOGRAPHIQUE/ CARTOGRAPHIQUE (Hiver/Été) (1 600 km²)	(64 628 ha = 100%) 69 900 ha = 108%						(69 351 ha = 100%) 64 900 ha = 94%						(25 006 = 100) 25 200	101	—

TABLEAU II

SOMMAIRE DES RÉSULTATS DES CLASSIFICATIONS PAR GRILLE UTM DE 10 km × 10 km – CLASSIFICATION DIRIGÉE BIDATATIONNELLE

CLASSE / QUAD.	RÉSINEUX			RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES			BRÛLIS RÉCENT			SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS			EAU		
Réf. UTM	ha	%	d'exactitude	ha	%	d'exactitude	ha	%	d'exactitude	ha	%	d'exactitude	ha	%	d'exactitude
13 56 636	1 225	12.2	99.5	2 809	28.1	71.2	1	–	–	4 047	40.5	78.0	1 809	18.1	94.6
13 57 636	2 184	21.8	88.8	1 758	17.5	92.1	0	–	99.7	4 294	43.0	86.0	1 761	17.6	94.4
13 58 636	2 064	20.6	91.1	2 797	28.0	96.6	36	0.4	99.9	2 257	22.6	98.7	2 839	28.4	93.0
13 59 636	3 691	37.0	83.3	2 234	22.4	87.9	5	–	–	1 853	18.6	96.8	2 204	22.1	91.6
13 60 636	2 837	28.4	99.0	2 729	27.3	97.3	5	–	–	2 520	25.2	95.1	1 912	19.1	91.3
13 56 635	2 290	22.9	91.4	1 143	11.4	76.1	13	0.1	99.8	3 512	35.1	94.6	2 954	29.6	90.8
13 57 635	4 143	41.5	100.0	1 514	15.2	95.7	3	–	–	1 550	15.5	97.8	2 776	27.8	93.2
13 58 635	5 034	50.4	99.0	1 716	17.2	99.3	3	–	–	1 282	12.8	93.7	1 946	19.5	93.8
19 59 635	4 292	42.9	99.0	2 449	24.5	94.6	1	–	–	1 742	17.4	94.6	1 523	15.2	99.3
13 60 635	3 714	37.2	96.9	3 118	31.2	83.4	0	–	–	1 410	14.1	85.9	1 754	17.5	95.5
13 56 634	1 618	16.2	98.6	1 543	15.4	91.6	14	0.1	99.9	2 578	25.8	98.6	4 157	41.6	92.6
13 57 634	4 753	47.6	99.3	1 622	16.2	96.0	0	–	–	1 334	13.4	87.3	2 262	22.7	91.4
13 58 634	6 081	60.8	92.3	1 162	11.6	97.4	1	–	–	1 060	10.6	88.0	1 692	16.9	92.9
13 59 634	4 414	44.1	95.1	1 952	19.5	90.0	0	–	–	1 373	13.7	90.1	2 272	22.7	93.9
13 60 634	2 923	29.2	87.5	3 202	32.0	77.5	2	–	–	939	9.4	92.1	2 934	29.4	94.6
13 56 633	2 881	28.8	92.6	2 262	22.6	88.8	0	–	–	2 696	27.0	99.0	2 040	20.4	95.4
13 57 633	3 913	39.1	98.3	2 477	24.8	99.5	412	4.1	98.0	1 378	13.8	92.4	1 837	18.4	93.4
13 58 633	4 032	40.3	83.6	1 883	18.8	83.1	339	3.4	99.4	1 530	15.3	92.2	2 208	22.1	92.0
13 59 633	3 964	39.7	95.0	2 295	23.0	89.4	152	1.5	99.1	1 080	10.8	91.7	2 460	24.7	92.6
13 60 633	1 755	17.5	81.7	4 366	43.6	72.8	1	–	–	1 079	10.8	93.6	2 680	26.7	94.8
13 56 632	2 225	22.3	98.3	2 331	23.3	71.5	12	0.1	99.9	4 349	43.5	80.4	961	9.6	93.6
13 57 632	2 133	21.3	98.0	1 693	16.9	86.6	878	8.8	99.5	3 289	32.9	93.0	1 886	18.9	91.7
13 58 632	2 564	25.6	91.5	1 394	13.9	91.3	1 178	11.7	99.6	1 910	19.0	95.6	2 632	26.3	86.6
13 59 632	990	9.9	77.5	3 325	33.2	93.1	27	0.3	99.7	3 236	32.4	88.1	2 219	22.2	93.8

Note: bidatationnelles = Août/Mai.

TABLEAU III

MATRICE DE CORRÉLATION COMPARANT DES CLASSIFICATIONS DIRIGÉES UNIDATATIONNELLES ET BIDATATIONNELLES

CLASSES D'AOÛT	NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NON CLASS.	TOTAL	POURCENT.
CLASSES D'AOÛT/MAI	NO.												
RÉSINEUX	1	260 452	52 422	2 097	243	1 045	2 585	2 342	10	4	14	321 214	81
RÉGÉNÉRATION DE RÉSINEUX	2	12 700	140 822	1 758	0	4 318	295	209	1	0	0	160 103	88
FEUILLUS, RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES	3	3 767	6 188	60 839	0	8 804	45	140	2	0	0	79 785	76
BRÛLIS RÉCENT	4	1 149	32	2	10 895	4	14	305	7	7	0	12 415	88
MUSKEG BOISÉ	5	3 230	38 856	6 021	9	141 326	4 617	283	11	20	1	194 374	73
ROUTES	6	8 597	5 634	188	256	5 835	23 241	343	20	747	0	44 861	52
RIVIÈRES	7	40 080	19 545	789	1 566	1 814	463	75 587	7 988	32	4	147 868	51
LACS	8	357	53	23	730	85	97	5 657	87 200	113	0	94 315	92
NUAGES	9	23	40	27	54	239	1 161	19	0	8 315	0	9 878	84

Note: Les données sont en pixels ré-échantillonés (50 m × 50 m).
Une seule date = Août.
Deux dates = Août/Mai.

TABLEAU IV

MATRICE DE CORRÉLATION COMPARANT LA CLASSIFICATION DIRIGÉE UNIDATATIONNELLE AVEC LES DONNÉES CONNUES AU SOL POUR LES ZONES DE CONTRÔLE

CLASSES ARRÊTÉES	NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NON CLASS.	TOTAL	POURCEN.
DONNÉES CONNUES	NO.												
RÉSINEUX	1	1 042	0	0	2	0	2	1	0	0	0	1 047	100
RÉGÉNÉRATION DE RÉSINEUX	2	7	136	0	0	4	0	0	0	0	0	147	93
FEUILLUS, RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES	3	0	0	267	0	35	0	0	0	0	0	302	88
BRÛLIS RÉCENT	4	1	0	0	438	0	0	10	0	0	0	449	98
MUSKEG BOISÉ	5	0	0	0	0	230	0	0	0	0	0	230	100
ROUTES	6	3	0	0	0	3	181	0	0	0	0	187	97
RIVIÈRES	7	12	0	0	0	0	0	83	0	0	0	95	87
LACS	8	10	0	0	6	0	0	2	1 324	0	0	1 342	99
NUAGES	9	0	0	0	0	0	1	0	0	323	0	324	100

Note: Les données sont en pixels ré-échantillonnés (50 m × 50 m).
Une seule date = 14 août 1974.

TABLEAU V

MATRICE DE CORRÉLATION COMPARANT LA CLASSIFICATION DIRIGÉE BIDATATIONNELLE AVEC LES DONNÉES CONNUES AU SOL POUR LES ZONES DE CONTRÔLE

CLASSES ARIES	NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NON CLASS.	TOTAL	POURCEN.
DONNÉES CONNUES	NO.												
RÉSINEUX	1	1 044	0	0	0	0	1	2	0	0	0	1 047	100
RÉGÉNÉRATION DE RÉSINEUX	2	0	142	2	0	3	0	0	0	0	0	147	97
FEUILLUS, RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLIS	3	0	0	272	0	29	0	0	0	1	0	302	90
BRÛLIS RÉCENT	4	0	0	0	442	0	0	7	0	0	0	449	98
MUSKEG BOISÉ	5	0	0	0	0	230	0	0	0	0	0	230	100
ROUTES	6	0	0	0	0	2	185	0	0	0	0	187	99
RIVIÈRES	7	1	0	0	0	0	0	94	0	0	0	95	99
LACS	8	6	0	0	0	0	1	7	1 328	0	0	1 342	99
NUAGES	9	0	0	0	0	0	0	0	0	324	0	324	100

Notes: Les données sont en pixels ré-échantillonnés (50 m x 50 m).
Deux dates = 14 août 1974/11 mai 1975.

TABLEAU VI

MATRICE DE CORRÉLATION COMPARANT LA CLASSIFICATION DIRIGÉE TRIDATATIONNELLE AVEC LES DONNÉES CONNUES AU SOL POUR LES ZONES DE CONTRÔLE

CLASSES ARIES	NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NON CLASS.	TOTAL	POURCENT.
DONNÉES CONNUES	NO.												
RÉSINEUX	1	1 030	0	1	0	1	0	15	0	0	0	1 047	98
RÉGÉNÉRATION DE RÉSINEUX	2	0	103	37	0	6	0	1	0	0	0	147	70
FEUILLUS, RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES	3	0	0	285	0	17	0	0	0	0	0	302	94
BRÛLIS RÉCENT	4	0	0	0	440	0	0	9	0	0	0	449	98
MUSKEG BOISÉ	5	0	0	6	0	224	0	0	0	0	0	230	97
ROUTES	6	11	0	4	0	6	149	17	0	0	0	187	80
RIVIÈRES	7	0	0	1	0	0	0	94	0	0	0	95	99
LACS	8	0	0	0	0	0	0	13	1 329	0	0	1 342	99
NUAGES	9	0	0	0	0	0	0	0	0	324	0	324	100

Note: Les données sont en pixels ré-échantillonnés (50 m x 50 m).
Trois dates = 14 août 1974/11 mai 1975/11 mars 1978.

(c) les résultats peuvent être présentés sous forme de tableaux sommaires ou sous forme d'images thématiques à l'échelle et portant un code de couleur.

La méthodologie exploitée dans cette étude peut être simplifiée. La marche à suivre pour la classification des terrains forestiers du nord à partir des données multispectrales Landsat 1, 2 ou 3 devrait comporter ce qui suit:

1. Recherche de la documentation sur les zones à étudier, comprenant
   - couverture Landsat (combinaison des scènes de printemps et d'été pour le traitement numérique des images, et scènes d'hiver pour l'interprétation manuelle moins détaillée)
   - cartes forestières et cartes topograhiques
   - photographies aériennes

2. Interprétation manuelle des diapositives couleurs Landsat et images accentuées par processus photographique, y compris le choix des scènes secondaires aux fins de traitement numériques

3. Correction géométrique de précision des données multispectrales numériques Landsat pour les scènes secondaires choisies, et production de grilles de recouvrement de 10 km avec ARIES (comme alternative, on peut acheter du Centre canadien de télédétection les rubans Landsat avec correction de précision)

4. Accentuation des scènes secondaires par transformation modifiée des composantes principales

5. Sélection des classes, en se rappelant qu'elles doivent être compatibles avec le système de données sur les ressources forestières canadiennes (si certaines classes doivent être divisées en sous classes au cours de la classification des images numériques – afin de tenir compte, par exemple, des effets de la topographie – on doit les recombiner en classes compatibles avec le système des données sur les ressources forestières canadiennes une fois la classification terminée)

6. Classification dirigée bidatationnelle, y compris le choix des zones d'entraînement et de contrôle, fondé principalement sur l'analyse des photographies aériennes (les photographies aériennes sont disponibles pour tout le pays et les échelles vont de 1:50 000 à 1:70 000; certaines photographies sont de qualité inférieure et datent d'environ 25 ans)

7. Résultats du traitement des images numériques, y compris
   - tableaux sommaires (avec surfaces des classes pour chaque grille UTM de 10 km X 10 km)
   - images thématiques portant un code de couleur
   - tables de corrélation

L'exactitude de la classification des forêts à partir des données multispectrales Landsat 1, 2 ou 3, en classes de résineux-feuillus-bois mixtes doit pouvoir être de l'ordre de 70 à 90%, dépendant de la qualité des données-image, des caractéristiques des sites et des forêts, des dates d'enregistrement des données et des techniques de traitement des images.

Le calcul des coûts relatifs à cette étude pilote incluait des estimés réalistes de l'entretien et de l'amortissement du système ARIES, de même que les frais administratifs généraux. Avant de faire la comparaison des coûts avec d'autres études, il faudrait déterminer jusqu'à quel point ces articles furent inclus dans les calculs des coûts. Comme on pouvait s'y attendre dans le cas d'une étude pilote, les coûts furent supérieurs à ce qu'ils auraient été dans le cas d'un projet opérationnel. Les principales raisons furent la superficie relativement petite de la zone d'essai et l'exploitation du système ARIES pendant 7.5 heures par jour seulement. Les calculs détaillés des coûts de cette étude pilote (A) et les estimés relatifs à un projet opérationnel (B) sont donnés ci-dessous:

A. Étude pilote

Superficie de la zone d'essai	2400 km^2 (2500 km^2 traités numériquement)	
Main-d'oeuvre	Chercheur scientifique Agent de télédétection forestière Opérateur du système ARIES (Analyste des données)	
Temps		
Temps du système ARIES (total)	100 heures	
Chercheur scientifique	6 semaines X 37.5 heures = 225 heures	
Agent de télédétection forestière	6 semaines	225 heures
Opérateur ARIES	6 semaines	225 heures
Coût du système ARIES		
Coût de remplacement du système ARIES	$400 000 (en dollars de 1979)	
Durée utile prévue du système ARIES 7 ans X 1950 heures	13 650 heures	
Utilisation du système ARIES 0.7 X 13 650 heures	10 000 heures	
Coût d'exploitation du système ARIES pendant 7 ans	$400 000 (en dollars de 1979)	
Coût total du système ARIES en 7 ans	$800 000 (en dollars de 1979)	
Coût de 100 heures d'exploitation du système ARIES	$8000 (en dollars de 1979)	
Coût de la main-d'oeuvre		
Coût moyen d'une personne avec frais généraux	$50 000 par année (en dollars de 1979)	

Coût de 675 heures-personnes $\frac{\$50\,000}{1950\text{ h}} \times 675$ heures	$17 308 (en dollars de 1979)
Coût de l'étude pilote	$25 000 (en dollars 1979) (Coûts du système ARIES et de la main-d'oeuvre)
Coût par grille UTM de 100 km²	$1000
Coût par hectare	0.10
Coût par âcre	0.04

B. Projet opérationnel (estimé)

Superficie de la zone (recommandée)	8000 km²
Main-d'oeuvre	Agent de télédétection forestière Opérateur du système ARIES (analyste des données)
Temps	
Temps du système ARIES (Total)	100 heures
Agent de télédétection forestière	8 semaines × 37.5 heures = 300 h
Opérateur de système ARIES (analyste des données)	300 heures
Coût du système ARIES (exploitation par deux relèves)	
Coût de remplacement du système ARIES	$400 000 (en dollars de 1979)
Durée utile prévue du système ARIES 7 ans × 1950 heures	13 650 heures
Utilisation du système ARIES 0.75 × 2 (relèves) 1.5 × 13 650	1.5 20 000 heures
Coût d'exploitation du système ARIES pendant 7 ans	$400 000 (en dollars de 1979)
Coût total du système ARIES pendant 7 ans	$800 000 (en dollars de 1979)
Coût de 100 heures d'exploitation du système ARIES	$4000 (en dollars de 1979)
Coût de la main-d'oeuvre	
Coût moyen d'une personne avec frais généraux	$50 000 par année (en dollars de 1979)
Coût de 600 heures-personnes $\frac{\$50\,000}{1950\text{ h}} \times 600$ heures	$15 385 (en dollars de 1979)
Coût d'un projet opérationnel	
Coût du système ARIES + coût de la main-d'oeuvre	$20 000 (en dollars de 1979)
Coût par grille UTM de 100 km²	$250
Coût par hectare	$0.025
Coût par acre	$0.01

Un glossaire des termes relatifs à la télédétection et à la cartographie utilisés dans ce rapport figure à l'appendice 5.

Résumé et conclusions

La classification des forêts à partir des données multispectrales Landsat constitue l'une des applications les plus difficiles de la télédétection. La raison principale vient du manque d'homogénéité des grandes classes forestières enregistrées par Landsat. Par exemple, la classe des résineux se compose généralement de nombreuses espèces coniférienes ayant différentes caractéristiques spatiales et spectrales. Même lorsque la même essence d'arbres occupe toute la surface d'un pixel Landsat (0.6 ha), à partir de laquelle la moyenne des intensités du rayonnement réfléchi est enregistrée par le satellite comme valeur distincte, il peut y avoir des différences dans la densité du couvert, la hauteur des arbres, le sous-bois et la topographie. En outre, les différentes conditions d'humidité au sol et les différences de climat peuvent introduire plus de variables dans l'obtention de la moyenne des valeurs spectrales de tout pixel déterminé. Pour les raisons qui précèdent, il est peu probable qu'on puisse jamais faire une classification complètement automatisée des forêts à partir des données obtenues par télédétection. Il faudra toujours avoir recours à des interprètes compétents pour superviser les techniques de classification des forêts sur ordinateur. Depuis 1978, le Service canadien des forêts possède l'un des systèmes les plus perfectionnés de traitement des images numériques, ARIES, conçu spécialement en vue d'établir la cartographie des forêts à partir des données multispectrales obtenues par satellite. Les principaux avantages de ce système sont sa souplesse et sa grande vitesse de traitement. Il peut effectuer l'algorithme de classification par vraisemblances maximales pour un quart de scène Landsat, c'est-à-dire pour une zone de (90 km)² au sol, enregistrée en quatre bandes spectrales par le balayeur multispectral Landsat, en quelque 20 minutes. Le type courant de mini-ordinateur prend environ 20 heures pour effectuer le même travail.

La grande vitesse de traitement du système ARIES a contribué de façon très nette à réduire l'écart entre les applications expérimentales et opérationnelles de la télédétection par satellite. Cependant, la véritable percée dans le domaine de la télédétection par satellite n'aura lieu seulement

lorsque Landsat-D, le premier d'une nouvelle génération de satellite de détection des ressources, sera lancé en 1982. Sa charge utile comprendra un balayeur multispectral complexe désigné "thematic mapper" (ou appareil de cartographie thématique). Ce dernier aura une résolution au sol grandement améliorée, du présent 80 m X 80 m à 30 m X 30 m, et des bandes spectrales plus précises qui permettront une meilleure définition tant spatiale que spectrale des classes de sols. Alors que le système actuel permet d'établir les cartes des forêts à une échelle de 1:250 000, l'information et la précision géométrique des images enregistrées par l'appareil de cartographie thématique peuvent être compatibles avec l'établissement de cartes forestières à une échelle de 1:50 000. On ne doute pas que le nombre des applications opérationnelles augmentera de façon géométrique avec l'augmentation de l'échelle cartographique.

Cette étude pilote ne portait que sur la première étape, c'est-à-dire l'étape de reconnaissance, d'un système de télédétection en plusieurs étapes aux fins des inventaires forestiers. Il faudrait maintenant appliquer le système à des zones plus grandes. Dans le cadre d'un projet opérationnel, il faudra combiner les données Landsat avec un échantillonnage par photographies aériennes et avec des données topographiques (sous forme de modèles numériques de terrains) tirées des cartes existantes (Strahler *et autres*, 1978). Un nouveau logiciel intégré à ARIES, qui permet d'assimiler les données topographiques aux données relatives aux images multispectrales Landsat, a été mis au point conjointement par DIGIM Limited de Québec et DIPIX Systems Limited d'Ottawa. Ce logiciel permet d'accentuer le côté topographique des images Landsat et permet également d'incorporer les paramètres topographiques (e.g. élévation du terrain, inclinaison des pentes, et aspect) dans la cartographie thématique assistée par ordinateur à partir des images Landsat (Rochon et autres, 1979).

Un tel système d'inventaire intégré fournira aux gestionnaires des ressources des modèles biophysiques de la zone en cause et permettra l'observation de leurs changements avec le temps. Ces modèles serviront de base aux banques de données sur les richesses naturelles et permettront d'atteindre peut-être le but fixé, c'est-à-dire un rendement soutenu des ressources naturelles renouvelables. On attend un tel système depuis fort longtemps, surtout en foresterie où le déboisement se fait constamment, suivi de l'érosion du sol et de changements rigoureux du climat dans plusieurs parties du monde.

Bibliographie

Bonnor, G.M. 1978. Pilot study for Canadian forest resource data system. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-122, Environ. Can., Ottawa, Ont., 28 pp.

Bowen, M.G. 1978. Canada's forest inventory. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-116, Environ. Can., Ottawa, Ont., 63 pp.

Erb, R.B. 1974. ERTS-1 forest analysis. NASA technical memorandum TMX-58119, Houston, Texas, 110 pp.

Harding, R.A., et R.B. Scott. 1978. Forest inventory with Landsat, phase II: Washington forest productivity study Dep. Natur. Resour. Tech. Rep., Olympia, Washington, 221 pp.

Heller, R.C. 1975. Evaluation of ERTS-1 data for forest and rangeland surveys, USDA For. Serv. Res. PSW-112., Berkeley, Calif., 67 pp.

Honer, T.G. 1978. The national shame of Canada's forest resource statistics. Proc. 5th Can. Symp. Remote Sensing, Victoria, C.-B., pp. 1-6.

Howard, J.A. 1976. The development and role of remote sensing in forestry. For. Abstr. (Commonw. For. Bur., Slough, U.K.) 37(9):493-501.

Kalensky, Z. 1974. ERTS thematic map from multidate digital images. Proc. ISP Symp. Remote and Photo Interpretation, Banff, Alberta, pp. 767-786.

Kalensky, Z., et L. Sayn-Wittgenstein. 1974. Thematic map of Larose Forest from ERTS-1/MSS digital data. Can. Surv. (Can. Inst. Surv., Ottawa) 28(2):113-118.

Kalensky, Z., et L.R. Scherk. 1975. Accuracy of forest mapping from Landsat computer-compatible tapes. Proc. 10th Int. Symp. Remote Sensing Environ., Ann Arbor, Mich., pp. 1159-1167.

Kan, E.R., et R.D. Dillman. 1975. Timber type separability in Southeastern United States of Landsat-1 MSS data. Proc. NASA Earth Res. Surv. Symp. 1-A, Houston, Texas, pp. 115-157.

Kirvida, L. 1973. Automated photointerpretation for plant species and stress identification: Final report, NASA contract NAS5-21866, Honeywell inc., Minneapolis, Minn., 52 pp.

Kourtz, P.H., et A.J. Scott. 1978. An improved image enhancement technique and its application to forest fire management. Proc. 5th Can. Symp. Remote Sensing, Victoria, C.-B., pp. 72-78.

Letts, P. 1978. Unsupervised classification in the ARIES image analysis system. Proc. 5th. Can. Symp. Remote Sensing. Victoria, C.-B., pp. 61-71.

Madill, R.J., et G.M. Bonnor. 1977. Proposal for a Canadian Forest Resource Data System. International report, For. Manage. Inst., Environ. Can., Ottawa, Ont., 8 pp.

Moore, W.C., et G.M. Bonnor. 1980. Geographic referencing of national forestry data. For. Chron. (Can. Inst. For., Montréal) 56:6-10.

Newnham, R.M. 1968. A classification by principal component analysis and its relationship to tree species distribution. For. Sci. 14(3):254-264.

Piirvee, R., et K.N. Braun. 1978. An application of the ARIES System to ground vegetation mapping for forestry. Proc. 5th Can. Symp. Remote Sensing, Victoria, C.-B., pp. 79-85.

Rochon, G., H. Audirac, A. Larrivée, J. Beaubien, et P. Gignac. 1979. Correction radiométrique des effets topographiques sur des images Landsat de territoires forestiers. *Dans:* Télédétection et Gestion des Ressources, F. Bonn (ed.). Association Québécoise de Télédétection, Ste-Foy, Québec, pp. 151-263.

Schubert, J.S. 1978. Computer processing of Landsat data for Canada Land Inventory land use mapping. Can. Land Invent. Rep. 13, Environ. Can., Ottawa, 72 pp.

Strahler, A.H., T.L. Logan, et N.A. Bryant. 1978. Improving forest cover classification accuracy from Landsat by incorporating topographic information. Proc. 12th Int. Symp. Remote Sensing Environ., Manille, Philippines, pp. 927-942.

Taylor, M.M. 1974. Principal component color display of ERTS imagery. Proc. 2nd Can. Symp. Remote Sensing, Guelph, Ont., pp. 295-314.

Thie, J. 1976. An evaluation of remote sensing techniques for ecological (biophysical) land classification in northern Canada. Proc. 1st Can. Conf. Ecol. (Biophys.) Land Classif., Lands Dir., Environ. Can., Ottawa, pp. 129-147.

Appendice 1

SYSTÈME DE DONNÉES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES DU CANADA ET SYSTÈME DE GRILLES DE RÉFÉRENCE UTM

W.C. Moore

Le système de données

Le système proposé de données sur les ressources forestières du Canada fournira des sommaires de données propres à une région particulière et des cartes thématiques des ressources forestières pour tout le Canada (Bonnor, 1979). Les inventaires forestiers provinciaux constitueront les principales sources des données à compiler. Ces données forestières seront réorganisées par quadrilatères UTM ou par unités sommaires. Ces quadrilatères, d'une superficie connue et dont les limites seront indiquées sur les cartes, couvriront tout le pays. On projette de mettre le système au point en trois phases.

La première, une étude pilote en Saskatchewan, est terminée (Bonnor, 1978). Les données sur les ressources forestières, provenant fondamentalement de toute la zone forestière commerciale de la Saskatchewan (environ 250 000 km²), furent colligées en utilisant un nouveau système de classification par zone. Un mini-ordinateur fut utilisé pour le stockage et l'extraction des données sommaires de la banque de données résultante. À ces données sommaires s'ajouteront les données du système d'inventaires du territoire canadien (Bonnor, 1979) et les données de reconnaissance Landsat lorsque les données des inventaires provinciaux sont insuffisantes.

La deuxième étape consistera à étendre le système aux autres provinces. Les unités et les données sommaires qui existent au niveau des provinces serviront lorsque les données des inventaires provinciaux seront disponibles. Dans les zones qui ne sont pas encore couvertes par des inventaires détaillés, on utilisera une grille sommaire de dimensions normalisées, délimitée sur les cartes SNRC (Système national de référence cartographique) à l'échelle de 1:250 000 par la grille UTM de 10 km. On communique actuellement avec une autre province afin d'entreprendre la deuxième étape du projet sur les ressources forestières du Canada.

Au cours de la troisième phase, on prévoit utiliser la grille UTM de 10 km afin de récapituler toutes les données relatives aux ressources forestières à la grandeur du pays. Les ordinateurs disponibles seront largement exploités aux fins de stockage et de mise à jour des données, d'extraction rapide des renseignements sous forme de tableaux et de cartes produites par imprimante ligne par ligne. Des programmes seront mis au point en vue de traiter les données par cellules de façon à pouvoir extraire l'information sous n'importe quelle forme de combinaison de classifications.

Le système actuel de référence UTM est facile à comprendre et simple à exploiter, et la base de contrôle des relevés est facilement accessible. Il permet également de faire référence de façon souple et systématique à toutes les régions pour l'ensemble du pays. Ceci est important lorsqu'il faut faire la compilation et les sommaires des données relatives aux ressources forestières à l'échelle du pays.

Sommaire des règles de référence par grilles UTM

Séquence du numéro ZEN

Les chiffres importants dans une référence de surface doivent être groupés dans l'ordre suivant:

Zone Easting (vers l'est) Northing (vers le nord)

Référence, coin sud-ouest

Toutes références UTM à des surfaces se rapportent au coin sud-ouest de la grille UTM. La référence sera la même que ce soit une grille de 1 m × 1 m ou une grille de 100 km × 100 km si l'on fait abstration des zéros à droite qui s'ajoutent aux coordonnées et aux ordonnées.

Les chiffres de référence indiquent la dimension de la grille

Lorsque deux chiffres sont alloués au numéro de zone, le nombre de chiffres significatifs dans les coordonnées et les ordonnées détermine la dimension de la grille. Chaque chiffre supplémentaire ajouté aux coordonnées et aux ordonnées (de concert) réduit les dimensions linéaires de la grille par un facteur de 10 et la surface par un facteur de 100. Par exemple, il y a sept chiffres dans une référence de grille de 10 × 10 km au Canada – deux pour la zone, deux pour les coordonnées (Eastings), et trois pour les ordonnées (Northings). De même, il y a quinze chiffres dans un numéro de référence d'une grille (ou point, au mètre le plus rapproché) de 1 × 1 m. Voici un exemple:

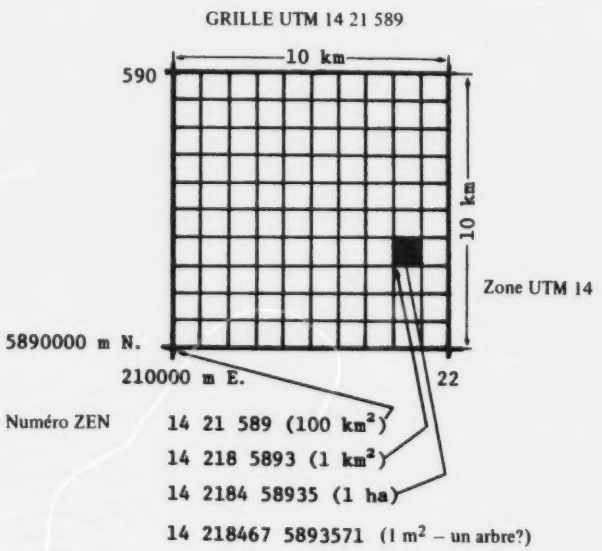


Figure A-1. Coordonnées UTM systématiques.

Les ouvrages dont les titres sont donnés ci-dessous fournissent de plus amples détails sur le système de données relatives aux ressources forestières canadiennes et sur le système de référence UTM:

Bonnor, G.M. 1978. Pilot study for Canadian forest resource data system. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-122, Environ. Can., Ottawa, Ont., 28 pp.

Bonnor, G.M. 1979. National forest statistics in Canada. Proc. Jt. Soc. Amer. For. and Can. Inst. For. Conv., October 1978, St. Louis, Mo.

Kalensky, Z.D., W.C. Moore, G.A. Campbell, D.A. Wilson, et A.J. Scott. 1979. Forest statistics by ARIES classification of Landsat multispectral images in northern Canada. Proc. 13th Int. Symp. Remote Sensing Environ., Ann Arbor., Mich., pp. 789-811.

Moore, W.C., et G.M. Bonnor. 1980. Geographic referencing of national forestry data. For. Chron. (Can. Inst. For., Montréal) 56:6-10.

Reed, F.L.C., and Associates. 1978. Forest management in Canada. Vol. 1. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-102, Environ. Can., Ottawa, Ont., 155 pp.

Surveys and Mapping Branch. 1969, 1971. The universal transverse mercator grid. Energy, Mines and Resources, Ottawa, Ont., 13 pp.

Task Force on Geographic Referencing. 1974. Geographical referencing report 1: Proposal for basic mapping. Ont. Minist. Natur. Resour., Toronto, Ont., 14 pp.

Appendice 2

TRANSFORMATION DES COMPOSANTES PRINCIPALES

Z.D. Kalensky

La transformation des composantes principales (TCP) est une méthode d'analyse multivariée exploitée afin de réduire le nombre de variables tout en conservant la majeure partie de l'information sur les ensembles de données d'origine. Elle est particulièrement efficace dans le traitement des données multidimensionnelles qui ont un certain degré de corrélation (redondance). Par exemple, la classification de la végétation et de l'utilisation des terres à partir des images multispectrales Landsat est souvent basée sur des ensembles de données à douze dimensions (quatre bandes par images et trois dates d'enregistrement) qui ont un degré élevé de corrélation. La TCP permet de transformer les variables originales qui sont en corrélation (les différentes bandes) en un nouvel ensemble de variables qui ne sont pas en corrélation (les composantes). Les paramètres de la première composante sont définis par une distribution maximale (grande variance) de l'ensemble des données d'origine, ceux de la deuxième composante, qui ne sont pas en corrélation avec la première (elles sont orthogonales), sont définis par la deuxième variance la plus élevée de l'ensemble de données d'origine, etc. En fait, pratiquement toutes les informations contenues dans l'ensemble de données d'origine à douze dimensions sont exprimées par les trois premières composantes transformées.

Le concept de la transformation des composantes principales est mieux expliqué par analogie géométrique. Pour plus de clarté, on utilise un ensemble de données à deux dimensions seulement (voir Fig. B-1):

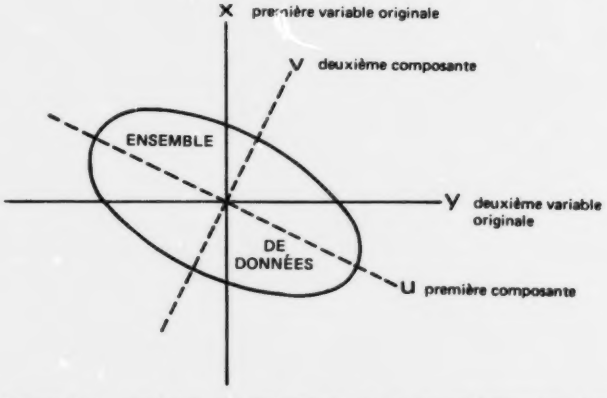


Figure B-1. Analogie géométrique de la transformation des composantes principales.

La relation mathématique entre les variables d'origine (x, y) et celles qui sont transformées (u, v) est définie par les équations suivantes:

$$u_i = a_1 x_i + b_1 y_i$$

$$v_i = a_2 x_i + b_2 y_i$$

où a_1, b_1, a_2, et b_2 sont des coefficients de rotation.

On peut résumer les caractéristiques principales des nouvelles variables (composantes transformées) comme suit:

1. Elles sont des fonctions linéaires des variables d'origine.
2. Elles sont orthogonales, c'est-à-dire indépendantes les unes des autres (ne sont pas en corrélation).
3. La variation totale entre elles est égale à la variation totale des variables d'origine. Par conséquent, les informations concernant les différences entre les variables observées ne sont pas perdues en cours de transformation.
4. Elles sont mises en ordre selon le degré de variance associée à chaque élément. Souvent, les deux ou trois premiers éléments représentent suffisamment la distribution originale définie par un nombre de variables plusieurs fois supérieur.

Une version modifiée de la transformation des composantes principales est disponible dans le logiciel ARIES. Son objectif est l'accentuation des classes déterminées de végétation et d'utilisation des terres. Les trois composantes transformées sont déterminés seulement à partir de zones choisies contenant les classes prioritaires plutôt qu'à partir de tout l'ensemble des données relatives aux images. Chaque composantes peuvent être déterminé à partir de zones différentes (sous-ensembles différents de données relatives aux images). Ces composantes "biaisées" sont alors utilisés pour la transformation (accentuation) de tout l'ensemble de données relatives aux images. On assigne aux trois composantes des coordonnées de couleur, c'est-à-dire brillance, rouge-vert et bleu-jaune, respectivement, et on les combine pour obtenir l'image accentuée en fausses couleurs. Toutefois, ces composantes de transformation déterminés à partir de zones différentes sont en corrélation. La technique décrite d'accentuation des images fondée sur une TCP modifiée nécessite une bonne expérience dans le choix des zones d'entraînement, mais les résultats sont supérieurs à ceux qu'on obtient en appliquant d'autres méthodes d'accentuation.

Les publications dont les titres figurent ci-après fournissent de plus amples détails sur la transformation des composantes principales et sur sa version modifiée.

Transformation des composantes principales:

Andrews, D.F., R. Gnanadesikan, et J.L. Warner. 1971. Transformations of multivariate data. Biometrics 27:825-840.

Jeffers, J.N.R. 1962. Principal component analysis of designed experiments. Statistician 12:230-242.

Jeffers, J.N.R. 1967. Two cases studies in the application of principal component analysis. Appl. Stat. 16:225-236.

Kendall, M.G. 1957. A course in multivariate analysis. Hafner Publ. Co., New York, N.Y., 185 pp.

Newnham, R.M. 1966. The relationship between climate and the distribution of tree species and forest regions in British Columbia. Internal publication, For. Manage. Res. Serv. Inst., Ottawa, Ont., 30 pp.

Newnham, R.M. 1968. A classification of climate by principal component analysis and its relationship to tree species distribution. For. Sci. 14:254-264.

Affichage couleur des composantes principales:

Kourtz, P.H., et A.J. Scott. 1978. An improved image enhancement technique and its application to forest fire management. Pro. 5th Can. Symp. Remote Sensing. Victoria, B.C., pp. 72-78.

Taylor, M.M. 1974. Principal component color display of ERTS imagery. Proc. 2nd Can. Symp. Remote Sensing, Guelph, Ont., pp. 295-314.

Appendice 3

CLASSIFICATION DIRIGÉE UTILISANT LA RÈGLE DE LA VRAISEMBLANCE MAXIMALE

Z.D. Kalensky

Chaque scène Landsat enregistrée par le balayeur multispectral (MSS) est codée en un ensemble de données relatives aux images multispectrales. Ces dernières forment une matrice, S_D, de vecteurs spectraux quadridimensionnels, $G_{i,j}$, qui représente la signature de radiance spectrale des pixels de terrain tel qu'enregistré dans les quatre bandes du balayeur multispectral:

$$S_D = \begin{pmatrix} G_{1,1} & \cdots & G_{1,3\,220} \\ \vdots & & \vdots \\ G_{2\,286,1} & \cdots & G_{2\,286,3\,220} \end{pmatrix}$$

où S_D = scène MSS Landsat enregistrée à la date D;

$G_{i,j}$ = vecteur spectral quadridimensionnel correspondant à un seul élément de résolution au sol, $P_{i,j}$, et défini par ses valeurs numériques dans les quatre bandes spectrales:

$$G_{i,j} = \begin{pmatrix} P^4_{i,j} \\ P^5_{i,j} \\ P^6_{i,j} \\ P^7_{i,j} \end{pmatrix}$$

Toute description statistique significative de la scène Landsat dans son ensemble par une seule matrice, S_D, est impossible du fait de la multitude et de la variabilité des classes présentes dans l'imagerie typique des satellites. Toutefois, la surface de terrain de 185 km × 185 km couverte par la scène Landsat peut toujours être séparée en classes présentant des caractéristiques communes qui peuvent être décrites par des mesures de tendance et de dispersion centrales.

À titre d'exemple, la classe C qui représente une forêt coniférienne, est décrite par le vecteur spectral moyen, $\bar{G}_C$, et par la matrice de covariance, W_C, si la dispersion des vecteurs spectraux, $G_{i,j}$, de la classe C est due à des facteurs aléatoires, c'est-à-dire si la classe C présente une distribution gaussienne multivariée (normale) des valeurs de pixels. Cette hypothèse, si elle est vraie, simplifie grandement la classification des scènes.

Comme la dimension et la position de la classe C dans la scène Landsat sont généralement inconnues (l'établissement de ses limites étant notre objectif), ce vecteur spectral moyen et la matrice de covariance de la classe doivent être estimés à partir de pixels situés dans les zones d'entraînement seulement. De là vient que toute erreur faite quant aux choix des zones d'entraînement influera directement sur la définition statistique de la classe et sur l'exactitude de sa classification.

Le vecteur spectral moyen, $\bar{G}_C$, de la classe C est défini par les moyennes arithmétiques, $\bar{P}_C$, des totaux numériques des pixels situés à l'intérieur des zones d'entraînement de la classe pour chaque bande spectrale:

$$\bar{G}_C = \begin{pmatrix} \bar{P}^4_C \\ \bar{P}^5_C \\ \bar{P}^6_C \\ \bar{P}^7_C \end{pmatrix}$$

La matrice de covariance de la classe, W_C, qui est une mesure de la dispersion de la classe dans la zone d'entraînement est définie comme suit:

$$W_C = \begin{pmatrix} \sigma^2_4 & \sigma_{4,5} & \sigma_{4,6} & \sigma_{4,7} \\ \sigma_{5,4} & \sigma^2_5 & \sigma_{5,6} & \sigma_{5,7} \\ \sigma_{6,4} & \sigma_{6,5} & \sigma^2_6 & \sigma_{6,7} \\ \sigma_{7,4} & \sigma_{7,5} & \sigma_{7,6} & \sigma^2_7 \end{pmatrix}$$

où les éléments diagonaux sont les variances des distributions des bandes spectrales de la classe C, et où les éléments non-diagonaux sont les covariances des distributions pour les combinaisons de deux bandes spectrales.

Le vecteur spectral moyen, $\bar{G}_C$ et la matrice de covariance, W_C, déterminent la fonction de probabilité gausienne multivariée de la classe C:

$$M^C_{(G_{i,j})} = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |W_C|^{1/2}} \exp\left[-1/2 (G_{i,j} - \bar{G}_C)^T W_C^{-1} (G_{i,j} - \bar{G}_C) \right]$$

où $M^C_{(G_{i,j})}$ est la probabilité d'occurrence du vecteur spectral, $G_{i,j}$, dans la classe C

N est la dimension du vecteur spectral, $G_{i,j}$ (dans le présent cas, $G_{i,j}$ était quadridimensionnel pour une classification unidatationnelle et avait douze dimensions pour la classification multidatationnelle)

$G_{i,j}$ est le vecteur spectral correspondant au pixel, $P_{i,j}$

$\bar{G}_C$ est le vecteur spectral moyen estimé de la classe C

W_C est la matrice de covariance estimée de la classe C

Les pixels provenant d'une scène complète sont classifiés en fonction de leur position dans l'espace spectral, c'est-à-dire en fonction de la probabilité d'occurrence de leurs vecteurs spectraux respectifs dans chacune des classes. Si la probabilité, $M(G_{i,j})$, pour la classe donnant la valeur la plus élevée est sous un seuil limite, par exemple 0.01, le pixel, $P_{i,j}$, est classifié "inconnu".

Publications choisies sur la classification dirigée des données multispectrales Landsat par la règle de la vraisemblance maximale, et sur les caractéristiques des données relatives aux images numériques multispectrales:

Kalensky, Z. 1974. ERTS thematic map form multidate digital images. Proc. ISP Symp. Remote Sensing and Photointerpretation, Banff, Alberta, pp. 767-786.

Kirvida, L. 1973. Automated Photointerpretation for plant species and stress identification: Final report, NASA contract NAS5-21866. Honeywell Inc., Minneapolis, Minn., 52 pp.

Peet, F.G. 1977. A primer on the use of digital Landsat data. Internal publication, For. Manage. Inst., Ottawa, Ont., 23 pp.

Shlien, S. et D. Goodenough. 1973. Automatic interpretation of ERTS-A imagery using the Maximum-Likelihood Decision Rule. Research Report 73-2, Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ont., 24 pp.

Strome, W.M., S.S. Vishnubhatla, et F.E. Guertin. 1975. Format specifications for Canadian Landsat MSS system corrected computer compatible tape. Research Report 75-3, Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ont., 64 pp.

Swain, P.H., et S.M. Davis (éd.) 1978. Remote sensing: the quantitative approach. McGraw-Hill Inc., New York, N.Y., 396 pp.

Taranik, J.V. 1978. Characteristics of the Landsat multispectral data system. Open-file report 78-187, U.S. Geological Survey, Sioux Falls, S. Dak., 76 pp.

Appendice 4

TABLEAUX DES ZONES D'ESSAI PAR QUADRILATÈRES DE 10 km

Les tableaux donnés dans cette appendice sont les résultats détaillés de la présente étude. Les sommaires et les commentaires sont contenues dans le texte principal.

Les données brutes utilisées (rubans pour ordinateurs et images sur pellicule) portent les numéros d'identification d'images Landsat, les centres d'image et les dates d'exposition suivants:

Été:	10752-17223	(40-20)	14 août 74
Printemps:	11022-17114	(40-20)	11 mai 75
Hiver:	21144-16530	(40-20)	11 mars 78

Tous les tableaux comparent différentes combinaisons d'images, pour les classifications numériques et visuelles, avec les données de terrain des cartes des inventaires forestiers. Les tableaux (méthodologies) sont les suivants:

Tableau 4-I : Classification dirigée unidatationnelle

4-II : Classification dirigée bidatationnelle

4-III : Classification dirigée tridatationnelle

4-IV : Classification non dirigée unidatationnelle

4-V : Accentuation visuelle unidatationnelle

4-VI : Accentuation visuelle bidatationnelle

TABLEAU 4 – I

CLASSIFICATION DIRIGÉE UNIDATATIONNELLE COMPARÉE AUX DONNÉES DES CARTES D'INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD.	RÉSINEUX		FEUILLUS		BOIS MIXTE		RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES		BRÛLIS RÉCENT		SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS		EAU		NON CLASS.		TOTAUX
ZONE UTM 13	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	km²
CARTE 56,636	1 188	11.7	6	0.1	6	0.1	5 743	56.9	–	–	1 863	18.5	1 281	12.7	–	–	100.87
ETE DIRIGÉE	1 653	16.5	–	–	–	–	3 550	35.5	35	0.4	3 399	34.0	1 214	12.1	149	1.5	100.00
Différence	-465	-4.8	6	0.1	6	0.1	2 193	21.4	-35	-0.4	-1 536	-15.5	67	0.6	-149	-1.5	
CARTE 57,636	3 244	33.0	19	0.2	6	0.1	2 506	25.4	31	0.3	2 844	29.0	1 188	12.0	–	–	98.38
ETE DIRIGÉE	2 434	24.3	–	–	–	–	2 548	25.5	1	–	3 772	37.7	1 245	12.5	–	–	100.00
Différence	810	8.7	19	0.2	6	0.1	-42	-0.1	30	0.3	-928	-8.7	-57	-0.5	–	–	
CARTE 58,636	2 894	29.5	6	0.1	–	–	2 413	24.6	50	0.5	2 350	23.9	2 106	21.4	–	–	98.19
ETE DIRIGÉE	2 198	22.0	–	–	–	–	3 658	36.5	28	0.3	1 830	18.3	2 286	22.9	–	–	100.00
Différence	696	7.5	6	0.1	–	–	-1 245	-11.9	22	0.2	520	5.6	-180	-1.5	–	–	
CARTE 59,636	5 350	53.7	19	0.2	31	0.3	1 025	10.3	–	–	2 175	21.8	1 369	13.7	–	–	99.69
ETE DIRIGÉE	3 597	36.0	–	–	–	–	3 515	35.2	16	0.2	1 360	13.6	1 512	15.1	–	–	100.00
Différence	1 753	17.7	19	0.2	31	0.3	-2 490	-24.9	-16	-0.2	815	8.2	-143	-1.6	–	–	
CARTE 60,636	2 675	27.4	12	0.1	200	2.0	2 931	30.0	–	–	2 944	30.1	1 019	10.4	–	–	97.81
ETE DIRIGÉE	2 966	29.7	–	–	–	–	3 948	39.5	15	0.1	1 950	19.5	1 122	11.2	–	–	100.01
Différence	-291	-2.3	12	0.1	200	2.0	-1 017	-9.5	-15	-0.1	-994	10.6	-103	-0.8	–	–	
CARTE 56,635	1 387	14.3	–	–	–	–	3 412	35.3	25	0.3	2 869	29.7	1 969	20.4	–	–	96.62
ETE DIRIGÉE	2 952	29.5	–	–	–	–	2 044	20.4	64	0.6	2 787	27.9	1 988	19.9	165	1.7	100.00
Différence	-1 565	-15.2	–	–	–	–	1 368	14.9	-39	-0.3	82	1.8	-19	0.5	-165	-1.7	
CARTE 57,635	4 100	41.5	31	0.3	–	–	1 925	19.5	–	–	1 750	17.7	2 075	21.0	–	–	98.81
ETE DIRIGÉE	4 200	42.0	–	–	–	–	2 353	23.5	12	0.1	1 201	12.0	2 235	22.4	–	–	100.01
Différence	-100	-0.5	31	0.3	–	–	-428	-4.0	-12	-0.1	549	5.7	-160	-1.4	–	–	
CARTE 58,635	4 869	49.4	19	0.2	12	0.1	1 763	17.9	–	–	1 881	19.1	1 306	13.3	–	–	98.50
ETE DIRIGÉE	4 892	48.9	–	–	–	–	2 773	27.7	7	0.1	937	9.4	1 392	13.9	–	–	100.01
Différence	-23	-0.5	19	0.2	12	0.1	-1 010	-9.8	-7	-0.1	944	9.7	-86	-0.6	–	–	
CARTE 59,635	4 181	41.9	6	0.1	19	0.2	1 906	19.1	–	–	2 275	22.8	1 588	15.9	–	–	99.75
ETE DIRIGÉE	4 013	40.1	–	–	–	–	3 521	35.2	7	0.1	1 370	13.8	1 088	10.8	–	–	99.99
Différence	168	1.8	6	0.1	19	0.2	-1 615	-16.1	-7	-0.1	905	9.0	500	5.1	–	–	
CARTE 60,635	3 982	40.3	156	1.6	231	2.3	1 444	14.6	–	–	2 781	28.2	1 281	13.0	–	–	98.75
ETE DIRIGÉE	3 806	38.1	–	–	–	–	3 807	38.1	–	–	1 089	10.9	1 298	13.0	–	–	100.00
Différence	176	2.2	156	1.6	231	2.3	-2 363	-23.5	–	–	1 692	17.3	-17	0.0	–	–	
CARTE 56,634	1 381	14.8	–	–	–	–	2 212	23.8	–	–	2 532	27.2	3 188	34.2	–	–	93.13
ETE DIRIGÉE	2 043	20.4	–	–	–	–	2 370	23.7	24	0.2	2 018	20.2	3 394	33.9	151	1.5	100.00
Différence	-662	-5.6	–	–	–	–	-158	-0.1	-24	-0.2	514	7.0	-206	0.3	-151	-1.5	
CARTE 57,634	4 663	46.9	12	0.1	56	0.6	1 219	12.2	–	–	2 600	26.1	1 400	14.1	–	–	99.50
ETE DIRIGÉE	4 664	46.6	–	–	–	–	2 787	27.9	1	–	988	9.9	1 560	15.6	–	–	100.00
Différence	-1	0.3	12	0.1	56	0.6	-1 568	-15.7	-1	–	1 612	16.2	-160	-1.5	–	–	
CARTE 58,634	5 288	53.1	25	0.3	6	–	1 412	14.2	–	–	2 250	22.6	975	9.8	–	–	99.56
ETE DIRIGÉE	5 926	59.3	–	–	–	–	2 220	22.2	3	–	720	7.2	1 131	11.3	–	–	100.00
Différence	-638	-6.2	25	0.3	6	–	-808	-8.0	-3	–	1 530	15.4	-156	-1.5	–	–	
CARTE 59,634	4 856	49.0	56	0.5	88	0.8	944	9.5	–	–	2 350	23.6	1 656	16.6	–	–	99.50
ETE DIRIGÉE	4 337	43.4	–	–	–	–	2 736	27.4	–	–	1 096	10.9	1 832	18.3	–	–	100.01
Différence	519	5.6	56	0.5	88	0.8	-1 792	-17.9	–	–	1 254	12.7	-176	-1.7	–	–	
CARTE 60,634	4 156	41.7	88	0.9	656	6.6	950	9.5	–	–	1 725	17.3	2 394	24.0	–	–	99.69
ETE DIRIGÉE	2 918	29.2	–	–	–	–	3 859	38.5	6	0.1	704	7.1	2 512	25.1	–	–	99.99
Différence	1 238	12.5	88	0.9	656	6.6	-2 909	-29.0	-6	-0.1	1 021	10.2	-118	-1.1	–	–	
CARTE 56,633	2 050	21.4	25	0.2	75	0.8	3 238	33.8	–	–	2 681	28.0	1 519	15.8	–	–	95.88
ETE DIRIGÉE	3 080	30.8	–	–	–	–	3 091	30.9	–	–	2 168	21.7	1 511	15.1	150	1.5	100.00
Différence	-1 030	-9.4	25	0.2	75	0.8	147	2.9	–	–	513	6.3	8	0.7	-150	-1.5	
CARTE 57,633	3 612	37.4	12	0.1	181	1.9	2 444	25.3	200	2.1	2 069	21.4	1 138	11.8	–	–	96.56
ETE DIRIGÉE	3 731	37.3	–	–	–	–	3 734	37.3	388	3.9	916	9.1	1 232	12.4	–	–	100.01
Différence	-119	-0.1	12	0.1	181	1.9	-1 290	-12.0	-188	-1.8	1 153	12.3	-94	-0.6	–	–	
CARTE 58,633	2 325	23.9	6	0.1	31	0.3	3 475	35.7	275	2.8	2 244	23.1	1 369	14.1	–	–	97.25
ETE DIRIGÉE	3 942	39.4	–	–	–	–	2 941	29.4	330	3.3	1 132	11.3	1 642	16.4	13	0.1	100.00
Différence	-1 617	-15.5	6	0.1	31	0.3	534	6.3	-55	-0.5	1 112	11.8	-273	-2.3	-13	-0.1	
CARTE 59,633	4 275	44.7	50	0.5	344	3.6	1 187	12.4	231	2.4	1 525	19.1	1 650	17.3	–	–	95.62
ETE DIRIGÉE	3 816	38.2	–	–	–	–	3 267	32.7	147	1.5	784	7.8	1 959	19.6	26	0.3	99.99
Différence	459	6.5	50	0.5	344	3.6	-2 080	-20.3	84	0.9	1 041	11.3	-309	-2.3	-26	-0.3	
CARTE 60,633	3 556	35.8	231	2.3	669	6.7	1 638	16.5	–	–	1 706	17.2	2 131	21.5	–	–	99.31
ETE DIRIGÉE	1 855	18.6	–	–	–	–	4 701	47.0	4	–	996	10.0	2 334	23.3	109	1.1	99.99
Différence	1 791	17.2	231	2.3	669	6.7	-3 063	-30.5	-4	–	710	7.2	-203	-1.8	-109	-1.1	
CARTE 56,632	1 937	20.6	–	–	44	0.5	4 875	51.8	–	–	2 244	23.9	306	3.2	–	–	94.06
ETE DIRIGÉE	2 110	21.1	–	–	–	–	3 759	37.6	2	–	3 542	35.4	419	4.2	168	1.7	100.00
Différence	-173	-0.5	–	–	44	0.5	1 116	14.2	-2	–	-1 298	-11.5	-113	-1.0	-168	-1.7	
CARTE 57,632	2 281	23.3	6	0.1	50	0.5	2 963	30.3	906	9.3	2 532	25.9	1 031	10.6	–	–	97.69
ETE DIRIGÉE	2 307	23.1	–	–	–	–	2 688	26.9	849	8.5	2 820	28.2	1 221	12.2	115	1.2	100.00
Différence	-26	0.2	6	0.1	50	0.5	275	3.4	57	0.8	-288	-2.3	-190	-1.6	-115	-1.2	
CARTE 58,632	3 419	34.1	12	0.1	356	3.6	2 256	22.6	1 213	12.1	1 456	14.6	1 288	12.9	–	–	100.00
ETE DIRIGÉE	2 782	27.8	–	–	–	–	2 328	23.3	1 196	12.0	1 456	14.6	1 871	18.7	367	3.7	100.00
Différence	637	6.3	12	0.1	356	3.6	-72	-0.7	17	0.1	–	–	-583	-5.8	-367	-3.7	
CARTE 59,632	3 181	32.4	44	0.4	431	4.4	2 588	26.3	–	–	2 012	20.5	1 569	16.0	–	–	98.25
ETE DIRIGÉE	1 206	12.1	–	–	–	–	3 735	37.4	50	0.5	3 097	31.0	1 752	17.5	160	1.6	100.00
Différence	1 975	20.3	44	0.4	431	4.4	-1 147	-11.1	-50	-0.5	-1 085	-10.5	-183	-1.5	-160	-1.6	

Note: Les pourcentages sont donnés pour fin de comparaison seulement. Les surfaces provenant des cartes d'inventaires des cantons furent estimées approximativement à partir de grilles pointillées et tous les calculs ont été arrondis.

TABLEAU 4 – II

CLASSIFICATION DIRIGÉE BIDATATIONNELLE COMPARÉE AUX DONNÉES DES CARTES D'INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD.	RÉSINEUX		FEUILLUS		BOIS MIXTE		RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLIS		BRÛLIS RÉCENT		SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS		EAU		NON CLASS.		TOTAUX
ZONE UTM 13	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	km^2
CARTE 56 636	1 188	11.7	6	0.1	6	0.1	5 743	56.9	–	–	1 863	18.5	1 281	12.7	–	–	100.87
AOÛT/MAI DIRIGÉE	1 225	12.3	–	–	–	–	2 809	28.1	1	–	4 047	40.5	1 809	18.1	109	1.1	100.00
Différence	-37	-0.6	6	0.1	6	0.1	2 934	28.8	-1	–	-2 184	-22.0	-528	-5.4	-109	-1.1	
CARTE 57 636	3 244	33.0	19	0.2	6	0.1	2 506	25.4	31	0.3	2 844	29.0	1 188	12.0	–	–	98.38
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 184	21.8	–	–	–	–	1 758	17.5	–	–	4 294	43.0	1 761	17.6	6	0.1	100.03
Différence	1 060	11.2	19	0.2	6	0.1	748	7.9	31	0.3	-1 450	-14.0	-573	-5.6	-6	-0.1	
CARTE 58 636	2 894	29.5	6	0.1	–	–	2 413	24.6	50	0.5	2 350	23.9	2 106	21.4	–	–	98.19
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 064	20.6	–	–	–	–	2 797	28.0	36	0.4	2 257	22.6	2 839	28.4	–	–	99.93
Différence	830	8.9	6	0.1	–	–	-384	-3.4	14	0.1	93	1.3	-733	-7.0	–	–	
CARTE 59 636	5 350	53.7	19	0.2	31	0.3	1 025	10.3	–	–	2 175	21.8	1 369	13.7	–	–	99.69
AOÛT/MAI DIRIGÉE	3 691	37.0	–	–	–	–	2 234	22.4	5	0.0	1 853	18.6	2 204	22.1	–	–	99.87
Différence	1 659	16.7	19	0.2	31	0.3	-1 209	-12.1	-5	-0.0	322	3.2	-835	-8.4	–	–	
CARTE 60 636	2 675	27.4	12	0.1	200	2.0	2 931	30.0	–	–	2 944	30.1	1 019	10.4	–	–	97.81
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 837	28.4	–	–	–	–	2 729	27.3	5	–	2 520	25.2	1 912	19.1	–	–	100.03
Différence	-162	-1.0	12	0.1	200	2.0	202	2.7	5	–	424	4.9	-893	-8.7	–	–	
CARTE 56 635	1 387	14.3	–	–	–	–	3 412	35.3	25	0.3	2 869	29.7	1 969	20.4	–	–	96.62
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 290	22.9	–	–	–	–	1 143	11.4	13	0.1	3 512	35.1	2 954	29.6	88	0.9	100.00
Différence	-903	-8.6	–	–	–	–	2 269	23.9	12	0.2	-643	-5.4	-985	-9.2	-88	-0.9	
CARTE 57 635	4 100	41.5	31	0.3	–	–	1 925	19.5	–	–	1 750	17.7	2 075	21.0	–	–	98.81
AOÛT/MAI DIRIGÉE	4 143	41.5	–	–	–	–	1 514	15.2	3	–	1 550	15.5	2 776	27.8	–	–	99.86
Différence	-43	0.0	31	0.3	–	–	411	4.3	-3	–	200	2.2	-701	-6.8	–	–	
CARTE 58 635	4 869	49.4	19	0.2	12	0.1	1 763	17.9	–	–	1 881	19.1	1 306	13.3	–	–	98.50
AOÛT/MAI DIRIGÉE	5 034	50.4	–	–	–	–	1 716	17.2	3	–	1 282	12.8	1 946	19.5	–	–	99.81
Différence	-165	-1.0	19	0.2	12	0.1	47	0.7	-3	–	599	6.3	-640	-6.2	–	–	
CARTE 59 635	4 181	41.9	6	0.1	19	0.2	1 906	19.1	–	–	2 275	22.8	1 588	15.9	–	–	99.75
AOÛT/MAI DIRIGÉE	4 292	42.9	–	–	–	–	2 449	24.5	1	–	1 742	17.4	1 523	15.2	–	–	100.07
Différence	-111	-1.0	6	0.1	19	0.2	-543	-5.4	-1	–	533	5.4	65	0.7	–	–	
CARTE 60 635	3 982	40.3	156	1.6	231	2.3	1 444	14.6	–	–	2 781	28.2	1 281	13.0	–	–	98.75
AOÛT/MAI DIRIGÉE	3 714	37.2	–	–	–	–	3 118	31.2	–	–	1 410	14.1	1 754	17.5	–	–	99.96
Différence	268	3.1	156	1.6	231	2.3	-1 674	-16.6	–	–	1 371	14.1	-473	-4.5	–	–	
CARTE 56 634	1 381	14.8	–	–	–	–	2 212	23.8	14	0.1	2 532	27.2	3 188	34.2	–	–	93.13
AOÛT/MAI DIRIGÉE	1 618	16.2	–	–	–	–	1 543	15.4	14	0.1	2 578	25.8	4 157	41.6	90	.9	100.00
Différence	-237	-1.4	–	–	–	–	669	8.4	-14	-0.1	-46	1.4	-969	-7.4	-90	-.9	
CARTE 57 634	4 663	46.9	12	0.1	56	0.6	1 219	12.2	–	–	2 600	26.1	1 400	14.1	–	–	99.50
AOÛT/MAI DIRIGÉE	4 753	47.6	–	–	–	–	1 622	16.2	–	–	1 334	13.4	2 262	22.7	6	0.1	99.77
Différence	-90	-0.7	12	0.1	56	0.6	-403	-4.0	–	–	1 266	12.7	-862	-8.6	-6	-0.1	
CARTE 58 634	5 288	53.1	25	0.3	6	–	1 412	14.2	–	–	2 250	22.6	975	9.8	–	–	99.56
AOÛT/MAI DIRIGÉE	6 081	60.8	–	–	–	–	1 162	11.6	1	–	1 060	10.6	1 692	16.9	–	–	99.96
Différence	-793	-7.7	25	0.3	6	–	250	2.6	-1	–	1 190	12.0	-717	-7.1	–	–	
CARTE 59 634	4 856	49.0	56	0.5	88	0.8	944	9.5	–	–	2 350	23.6	1 656	16.6	–	–	99.50
AOÛT/MAI DIRIGÉE	4 414	44.1	–	–	–	–	1 952	19.5	–	–	1 373	13.7	2 272	22.7	–	–	100.11
Différence	442	4.9	56	0.5	88	0.8	-1 008	-10.0	–	–	977	9.9	-616	-6.1	–	–	
CARTE 60 634	4 156	41.7	88	0.9	656	6.6	950	9.5	–	–	1 725	17.3	2 394	24.0	–	–	99.69
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 923	29.2	–	–	–	–	3 202	32.0	2	–	939	9.4	2 934	29.4	–	–	100.00
Différence	1 233	12.5	88	0.9	656	6.6	-2 252	-22.5	-2	–	786	7.9	-540	-5.4	–	–	
CARTE 56 633	2 050	21.4	25	0.2	75	0.8	3 238	33.8	–	–	2 681	28.0	1 519	15.8	–	–	95.88
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 881	28.8	–	–	–	–	2 262	22.6	–	–	2 696	27.0	2 040	20.4	121	1.2	100.00
Différence	-831	-7.4	25	0.2	75	0.8	976	11.2	–	–	-15	1.0	-521	-4.6	-121	-1.2	
CARTE 57 633	3 612	37.4	12	0.1	181	1.9	2 444	25.3	200	2.1	2 069	21.4	1 138	11.8	–	–	96.56
AOÛT/MAI DIRIGÉE	3 913	39.1	–	–	–	–	2 477	24.8	412	4.1	1 378	13.8	1 837	18.4	–	–	100.17
Différence	-301	-1.7	12	0.1	181	1.9	-33	0.5	-212	-2.0	691	7.6	-699	-6.6	–	–	
CARTE 58 633	2 325	23.9	6	0.1	31	0.3	3 475	35.7	275	2.8	2 244	23.1	1 369	14.1	–	–	97.25
AOÛT/MAI DIRIGÉE	4 032	40.3	–	–	–	–	1 883	18.8	339	3.4	1 530	15.3	2 208	22.1	7	0.1	99.99
Différence	-1 707	-16.4	6	0.1	31	0.3	1 592	16.9	-64	-0.6	714	7.8	-839	-8.0	-7	-0.1	
CARTE 59 633	4 275	44.7	50	0.5	344	3.6	1 187	12.4	231	2.4	1 825	19.1	1 650	17.3	–	–	95.62
AOÛT/MAI DIRIGÉE	3 964	39.7	–	–	–	–	2 295	23.0	152	1.5	1 080	10.8	2 460	24.7	22	0.2	99.73
Différence	311	5.0	50	0.5	344	3.6	-1 108	-10.6	79	0.9	745	8.3	-810	-7.4	-22	-0.2	
CARTE 60 633	3 556	35.8	231	2.3	669	6.7	1 638	16.5	–	–	1 706	17.2	2 131	21.5	–	–	99.31
AOÛT/MAI DIRIGÉE	1 755	17.5	–	–	–	–	4 366	43.6	1	–	1 079	10.8	2 680	26.7	140	1.4	100.21
Différence	1 801	18.3	231	2.3	669	6.7	-2 728	-27.2	-1	–	627	6.4	-549	-5.2	-140	-1.4	
CARTE 56 632	1 937	20.6	–	–	44	0.5	4 875	51.8	–	–	2 244	23.9	306	3.2	–	–	94.06
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 225	22.3	–	–	–	–	2 331	23.3	12	0 1	4 349	43.5	961	9.6	122	1.2	100.00
Différence	-288	-1.7	–	–	44	0.5	2 544	28.5	-12	-0.1	-2 105	-19.6	-655	-6.4	-122	-1.2	
CARTE 57 632	2 281	23.3	6	0.1	50	0.5	2 963	30.3	906	9.3	2 532	25.9	1 031	10.6	–	–	97.69
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 133	21.3	–	–	–	–	1 693	16.9	878	8.8	3 289	32.9	1 886	18.9	121	1.2	100.00
Différence	148	2.0	6	0.1	50	0.5	1 270	13.4	28	0.5	-757	-7.0	-855	-8.3	-121	-1.2	
CARTE 58 632	3 419	34.1	12	0.1	356	3.6	2 256	22.6	1 21	12.1	1 456	14.6	1 288	12.9	–	–	100.00
AOÛT/MAI DIRIGÉE	2 564	25.6	–	–	–	–	1 394	13.9	1 178	11.7	1 910	19.0	2 632	26.3	348	3.5	100.26
Différence	855	8.5	12	0.1	356	3.6	862	8.7	35	0.4	-454	-4.4	-1 344	-13.4	-348	-3.5	
CARTE 59 632	3 181	32.4	44	0.4	431	4.4	2 588	26.3	–	–	2 012	20.5	1 569	16.0	–	–	98.25
AOÛT/MAI DIRIGÉE	990	9.9	–	–	–	–	3 325	33.2	27	0.3	3 236	32.4	2 219	22.2	196	2.0	99.93
Différence	2 191	22.5	44	0.4	431	4.4	-737	-6.9	-27	-0.3	-1 224	-11.9	-650	-6.2	-196	-2.0	

Note: Les pourcentages sont donnés pour fin de comparaison seulement. Les surfaces provenant des cartes d'inventaires des cantons furent estimées approximativement à partir de grilles pointillées et tous les calculs ont été arrondis.

TABLEAU 4 – III

CLASSIFICATION DIRIGÉE TRIDATATIONNELLE COMPARÉE AUX DONNÉES DES CARTES D'INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD.	RÉSINEUX		FEUILLUS		BOIS MIXTE		RÉGÉNÉRATION ET BROUSSAILLES		BRÛLIS RÉCENT		SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS		EAU		NON CLASS.		TOTAUX
ZONE UTM 13	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	km²
CARTE 56 636	1188	11.7	6	0.1	6	0.1	5743	56.9	-	-	1863	18.5	1281	12.7	-	-	100.87
AOÛT-MAI-MARS	476	4.8	-	-	-	-	3520	35.2	38	0.4	2756	27.6	2913	29.1	297	3.0	100.00
Différence	712	6.9	6	0.1	6	0.1	2223	21.7	-38	-0.4	-893	-9.1	-1632	-16.6	-297	-3.0	
CARTE 57 636	3244	33.0	19	0.2	6	0.1	2506	25.4	31	0.3	2844	29.0	1188	12.0	-	-	98.38
AOÛT-MAI-MARS	1791	17.9	-	-	-	-	1034	10.3	4	-	4015	40.1	2906	29.1	250	2.5	100.00
Différence	1453	15.1	19	0.2	6	0.1	1472	15.1	27	0.3	-1171	-11.1	-1718	-17.1	-250	-2.5	
CARTE 58 636	2894	29.5	6	0.1	-	-	2413	24.6	50	0.5	2350	23.9	2106	21.4	-	-	98.19
AOÛT-MAI-MARS	1854	18.5	-	-	-	-	2039	20.4	58	0.6	2231	22.3	3781	37.8	37	0.4	100.00
Différence	1040	11.0	6	0.1	-	-	374	4.2	-8	-0.1	119	1.6	-1675	-16.4	-37	-0.4	
CARTE 59 636	5350	53.7	19	0.2	31	0.3	1025	10.3	-	-	2175	21.8	1369	13.7	-	-	99.69
AOÛT-MAI-MARS	3501	35.0	-	-	-	-	1512	15.1	6	0.1	1814	18.1	3138	31.4	29	0.3	100.00
Différence	1849	18.7	19	0.2	31	0.3	-487	-4.8	-6	-0.1	361	3.7	-1769	-17.7	-29	-0.3	
CARTE 60 636	2675	27.4	12	0.1	200	2.0	2931	30.0	-	-	2944	30.1	1019	10.4	-	-	97.81
AOÛT-MAI-MARS	1976	19.8	-	-	-	-	2293	22.9	34	0.3	2475	24.8	3152	31.5	70	0.7	100.00
Différence	699	7.6	12	0.1	200	2.0	638	7.1	-34	-0.3	469	5.3	-2033	-21.1	-70	-0.7	
CARTE 56 635	1387	14.3	-	-	-	-	3412	35.3	25	0.3	2869	29.7	1969	20.4	-	-	96.62
AOÛT-MAI-MARS	646	6.5	-	-	-	-	1102	11.0	172	1.7	3034	30.3	4808	48.1	238	2.4	100.00
Différence	741	7.8	-	-	-	-	2310	24.3	-47	-1.4	-165	-0.6	-2839	-27.7	-238	-2.4	
CARTI 57 635	4100	41.5	31	0.3	-	-	1925	19.5	-	-	1750	17.7	2075	21.0	-	-	98.81
AOÛT-MAI-MARS	3622	36.2	-	-	-	-	732	7.3	13	0.1	1975	19.8	3651	36.5	8	0.1	100.01
Différence	478	5.3	31	0.3	-	-	193	12.2	-13	-0.1	-225	-2.1	-1576	-15.5	-8	-0.1	
CARTI 58 635	4869	49.4	19	0.2	12	0.1	1763	17.9	-	-	1881	19.1	1306	13.3	-	-	98.50
AOÛT-MAI-MARS	4669	46.7	-	-	-	-	1094	10.9	10	0.1	1421	14.2	2774	27.7	33	0.3	100.01
Différence	200	2.7	19	0.2	12	0.1	669	7.0	-10	-0.1	460	4.9	-1468	-14.4	-33	-0.3	
CARTI 59 635	4181	41.9	6	0.1	19	0.2	1906	19.1	-	-	2275	22.8	1588	15.9	-	-	99.75
AOÛT-MAI-MARS	4057	40.6	-	-	-	-	1747	17.5	4	-	1863	18.6	2324	23.2	5	0.1	100.00
Différence	124	1.3	6	0.1	19	0.2	159	1.6	-4	-	412	4.2	-736	-7.3	-5	-0.1	
CARTI 60 635	3982	40.3	156	1.6	231	2.3	1444	14.6	-	-	2781	28.2	1281	13.0	-	-	98.75
AOÛT-MAI-MARS	3591	35.9	-	-	-	-	2333	23.3	-	-	1512	15.1	2548	25.5	16	0.2	100.00
Différence	391	4.4	156	1.6	231	2.3	-889	-8.7	-	-	1269	13.1	-1267	-12.5	-16	-0.2	
CARTI 56 634	1381	14.8	-	-	-	-	2212	23.8	-	-	2532	27.2	3188	34.2	-	-	93.13
AOÛT-MAI-MARS	1016	10.2	-	-	-	-	977	9.8	56	0.6	2547	25.5	5126	51.3	278	2.8	100.00
Différence	365	4.6	-	-	-	-	1235	14.0	-56	-0.6	-15	1.7	1938	-17.1	-278	-2.8	
CARTE 57 634	4065	40.9	12	0.1	56	0.6	1219	12.2	-	-	2600	26.1	1400	14.1	-	-	99.50
AOÛT-MAI-MARS	4344	43.4	-	-	-	-	508	5.1	2	-	2141	21.4	2988	29.9	17	0.2	100.00
Différence	319	3.5	12	0.1	56	0.6	711	7.1	-2	-	459	4.7	-1588	-15.8	-17	-0.2	
CARTI 58 634	5288	53.1	25	0.3	6	-	1412	14.2	-	-	2250	22.6	975	9.8	-	-	99.56
AOÛT-MAI-MARS	5411	54.1	-	-	-	-	672	6.7	28	0.3	1253	12.5	2636	26.4	-	-	100.00
Différence	-123	-1.0	25	0.3	6	-	740	7.5	-28	-0.3	997	10.1	-1661	-16.6	-	-	
CARTI 59 634	4856	49.0	56	0.5	88	0.8	944	9.5	-	-	2350	23.6	1656	16.6	-	-	99.50
AOÛT-MAI-MARS	4014	40.1	-	-	-	-	1423	14.2	2	-	1414	14.1	3130	31.3	17	0.2	100.00
Différence	842	8.9	56	0.5	88	0.8	-479	-4.7	-2	-	936	9.5	-1474	-14.7	-17	-0.2	
CARTI 60 634	4156	41.7	88	0.9	656	6.6	950	9.5	-	-	1725	17.3	2394	24.0	-	-	99.69
AOÛT-MAI-MARS	2674	26.7	-	-	-	-	2615	26.2	2	-	1040	10.4	3650	36.5	19	0.2	100.00
Différence	1482	15.0	88	0.9	656	6.6	-1665	-16.7	-2	-	685	6.9	-1246	-12.5	-19	-0.2	
CARTI 56 633	2050	21.4	25	0.2	75	0.8	3238	33.8	-	-	2681	28.0	1519	15.8	-	-	95.88
AOÛT-MAI-MARS	2928	29.3	-	-	-	-	1479	14.8	-	-	2784	27.8	2636	26.4	173	1.7	100.00
Différence	-878	-7.9	25	0.2	75	0.8	1759	19.0	-	-	-103	-0.2	-1117	-10.6	-173	-1.7	
CARTI 57 633	3612	37.4	12	0.1	181	1.9	2444	25.3	200	2.1	2069	21.4	1138	11.8	-	-	96.56
AOÛT-MAI-MARS	3848	38.5	-	-	-	-	1969	19.7	485	4.8	1218	12.2	2461	24.6	19	0.2	100.00
Différence	-236	-1.1	12	0.1	181	1.9	475	5.6	-285	-2.7	851	9.2	-1323	-12.8	-19	-0.2	
CARTI 58 633	2325	23.9	6	0.1	31	0.3	3475	35.7	275	2.8	2244	23.1	1369	14.1	-	-	97.25
AOÛT-MAI-MARS	3201	32.0	-	-	-	-	1537	15.4	439	4.4	1302	13.0	3420	34.2	101	1.0	100.00
Différence	-876	-8.1	6	0.1	31	0.3	1938	20.3	-164	-1.6	942	10.1	-2051	-20.1	-101	-1.0	
CARTE 59 633	4275	44.7	50	0.5	344	3.6	1187	12.4	231	2.4	1825	19.1	1650	17.3	-	-	95.62
AOÛT-MAI-MARS	3440	34.4	-	-	-	-	1908	19.0	196	2.0	936	9.4	3368	33.7	152	1.5	100.00
Différence	835	10.3	50	0.5	344	3.6	-721	-6.6	35	0.4	889	9.7	-1718	-16.4	-152	-1.5	
CARTE 60 633	3556	35.8	231	2.3	669	6.7	1638	16.5	-	-	1706	17.2	2131	21.5	-	-	99.31
AOÛT-MAI-MARS	1621	16.2	-	-	-	-	4134	41.3	-	-	921	9.2	3063	30.6	261	2.6	100.00
Différence	1935	19.6	231	2.3	669	6.7	-2496	-24.8	-	-	785	8.0	-932	-9.1	-261	-2.6	
CARTI 56 632	1937	20.6	-	-	44	0.5	4875	51.8	-	-	2244	23.9	306	3.2	-	-	94.06
AOÛT-MAI-MARS	1235	12.4	-	-	-	-	2876	28.8	142	1.4	2968	29.7	2214	22.2	565	5.6	100.00
Différence	702	8.2	-	-	44	0.5	1999	23.0	-142	-1.4	-724	-5.8	-1908	-19.0	-565	-5.6	
CARTE 57 632	2281	23.2	6	0.1	50	0.5	2963	30.3	906	9.3	2532	25.9	1031	10.6	-	-	97.69
AOÛT-MAI-MARS	2144	21.4	-	-	-	-	1586	15.9	942	9.4	2317	23.2	2504	25.0	507	5.1	100.00
Différence	137	1.9	6	0.1	50	0.5	1377	14.4	-36	-0.1	215	2.7	-1473	-14.4	-507	-5.1	
CARTE 58 632	3419	34.1	12	0.1	356	3.6	2256	22.6	1213	12.1	1456	14.6	1288	12.9	-	-	100.00
AOÛT-MAI-MARS	2444	24.4	-	-	-	-	1108	11.1	1274	12.7	1052	10.5	3164	31.6	959	9.6	100.01
Différence	975	9.7	12	0.1	356	3.6	1148	11.5	-61	-0.6	404	4.1	-1876	-18.7	-959	-9.6	
CARTE 59 632	3181	32.4	44	0.4	431	4.4	2588	26.3	-	-	2012	20.5	1569	16.0	-	-	98.25
AOÛT-MAI-MARS	950	9.5	-	-	-	-	3454	34.5	7	0.1	2434	24.3	2730	27.3	425	4.2	100.00
Différence	2231	22.9	44	0.4	431	4.4	-866	-8.2	-7	-0.1	-422	-3.8	-1161	-11.3	-425	-4.2	

Note: Les pourcentages sont donnés pour fin de comparaison seulement. Les surfaces provenant des cartes d'inventaires des cantons furent estimées approximativement à partir de grilles pointillées et tous les calculs ont été arrondis.

TABLEAU 4 – IV

CLASSIFICATION NON DIRIGÉE UNIDATATIONNELLE COMPARÉE AUX DONNÉES DES CARTES D'INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD.	RÉSINEUX		FEUILLUS ET BOIS MIXTE		RÉGÉN. BROUSSAILLES ET MUSKEG BOISÉ		BRÛLIS RÉCENT		SOLS NON PRODUCTIFS, ROUTES ET MARAIS		EAU		NON CLASSÉ, NUAGES ET OMBRES		TOTAUX
ZONE UTM 13	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	km²
CARTE 56 636	1 188	11.7	12	0.2	5 743	56.9	-	-	1 863	18.5	1 281	12.3	-	-	100.87
AOÛT NON DIRIGÉ	5 144	51.4	182	1.8	3 062	30.6	83	0.8	222	2.2	931	9.3	376	3.8	100.00
Différence	-3 956	-39.7	-170	-1.6	2 681	26.3	-83	-0.8	1 641	16.3	350	3.4	-376	-3.8	
CARTE 57 636	3 244	33.0	25	0.3	2 506	25.4	31	0.3	2 844	29.0	1 188	12.0	-	-	98.38
AOÛT NON DIRIGÉ	5 842	58.4	384	3.8	2 185	21.9	68	0.7	157	1.6	900	9.0	465	4.7	100.01
Différence	-2 598	-25.4	-359	-3.5	321	3.6	-37	-0.4	2 687	27.4	288	3.0	-465	-4.7	
CARTE 58 636	2 894	29.5	6	0.1	2 413	24.6	50	0.5	2 350	23.9	2 106	21.4	-	-	98.19
AOÛT NON DIRIGÉ	6 185	61.8	86	0.9	1 468	14.7	79	0.8	178	1.8	1 848	18.5	157	1.6	100.01
Différence	-3 291	-32.3	-80	-0.8	945	19.9	-29	-0.3	2 172	22.1	258	2.9	-157	-1.6	
CARTE 59 636	5 350	53.7	50	0.5	1 025	10.3	-	-	2 175	21.8	1 369	13.7	-	-	99.69
AOÛT NON DIRIGÉ	7 622	76.2	70	0.7	806	8.1	113	1.1	195	2.0	1 044	10.4	150	1.5	100.00
Différence	-2 272	-22.5	-20	-0.2	219	2.2	-113	-1.1	1 980	19.8	325	3.3	-150	-1.5	
CARTE 60 636	2 675	27.4	212	2.1	2 931	30.0	-	-	2 944	30.1	1 019	10.4	-	-	97.81
AOÛT NON DIRIGÉ	6 694	66.9	122	1.2	2 131	21.3	62	0.6	139	1.4	740	7.4	112	1.1	100.00
Différence	-4 019	-39.5	90	0.9	800	8.7	-62	-0.6	2 805	28.7	279	3.0	-112	-1.1	
CARTE 56 635	1 387	14.3	-	-	3 412	35.3	25	0.3	2 869	29.7	1 969	20.4	-	-	96.62
AOÛT NON DIRIGÉ	5 646	56.5	248	2.5	1 765	17.7	187	1.9	336	3.4	1 448	14.5	370	3.7	100.00
Différence	-4 259	-42.2	-248	-2.5	1 647	17.6	-162	-1.6	2 533	26.3	521	5.9	-370	-3.7	
CARTE 57 635	4 100	41.5	31	0.3	1 925	19.5	-	-	1 750	17.7	2 075	21.0	-	-	98.81
AOÛT NON DIRIGÉ	7 009	70.1	72	0.7	822	8.1	137	1.4	238	2.4	1 652	16.5	71	0.7	100.01
Différence	-2 909	-28.6	-41	-0.4	1 103	11.4	-137	-1.4	1 512	15.3	423	4.5	-71	-0.7	
CARTE 58 635	4 869	49.4	31	0.3	1 763	17.9	-	-	1 881	19.1	1 306	13.3	-	-	98.50
AOÛT NON DIRIGÉ	7 924	79.2	44	0.4	677	6.8	90	0.9	204	2.0	937	9.4	125	1.3	100.01
Différence	-3 055	-29.8	-13	-0.1	1 086	11.1	-90	-0.9	1 677	17.1	369	3.9	-125	-1.3	
CARTE 59 635	4 181	41.9	25	0.3	1 906	19.1	-	-	2 275	22.9	1 588	15.9	-	-	99.75
AOÛT NON DIRIGÉ	7 786	77.9	60	0.6	1 078	10.8	81	0.8	139	1.4	733	7.3	123	1.2	100.00
Différence	-3 605	-36.0	-35	-0.3	828	8.3	-81	-0.8	2 136	21.4	855	8.6	-123	-1.2	
CARTE 60 635	3 982	40.3	387	3.9	1 444	14.6	-	-	2 781	28.2	1 281	13.0	-	-	98.75
AOÛT NON DIRIGÉ	7 242	72.4	70	0.7	1 414	14.2	66	0.7	126	1.3	967	9.6	115	1.2	100.00
Différence	-3 250	-32.1	317	3.2	30	0.4	-66	-0.7	2 655	26.9	314	3.4	-115	-1.2	
CARTE 56 634	1 381	14.8	-	-	2 212	23.8	-	-	2 532	27.2	3 188	34.2	-	-	93.13
AOÛT NON DIRIGÉ	4 804	48.1	146	1.5	1 436	14.4	143	1.4	303	3.0	2 854	28.5	314	3.1	100.00
Différence	-3 423	-33.3	-146	-1.5	776	9.4	-143	-1.4	2 229	24.2	334	5.7	-314	-3.1	
CARTE 57 634	4 663	46.9	68	0.7	1 219	12.2	-	-	2 600	26.1	1 400	14.1	-	-	99.50
AOÛT NON DIRIGÉ	7 671	76.7	82	0.8	787	7.9	120	1.2	247	2.3	1 005	10.0	89	0.9	100.01
Différence	-3 008	-29.8	-14	-0.1	432	4.3	-120	-1.2	2 353	23.6	395	4.1	-89	-0.9	
CARTE 58 634	5 288	53.1	31	0.3	1 412	14.2	-	-	2 250	22.6	975	9.8	-	-	99.56
AOÛT NON DIRIGÉ	8 379	83.8	36	0.4	609	6.1	85	0.9	194	1.9	621	6.2	77	0.8	100.01
Différence	-3 091	-30.7	-5	-0.1	803	8.1	-85	-0.9	2 056	20.7	354	3.6	-77	-0.8	
CARTE 59 634	4 856	49.0	144	1.3	944	9.5	-	-	2 350	23.6	1 656	16.6	-	-	99.50
AOÛT NON DIRIGÉ	7 149	71.5	77	0.8	1 014	10.1	73	0.7	180	1.8	1 424	14.2	84	0.8	100.01
Différence	-2 293	-22.5	67	0.5	-70	-0.6	-73	-0.7	2 170	21.8	232	2.4	-84	-0.8	
CARTE 60 634	4 156	41.7	744	7.5	950	9.5	-	-	1 725	17.3	2 394	24.0	-	-	99.69
AOÛT NON DIRIGÉ	5 788	57.9	51	0.5	1 745	17.5	71	0.7	189	1.9	2 092	20.9	63	0.6	99.99
Différence	-1 632	-16.2	693	7.0	-795	-8.0	-71	-0.7	1 536	15.4	302	3.1	-63	-0.6	
CARTE 56 633	2 050	21.4	100	1.0	3 238	33.8	-	-	2 681	28.0	1 519	15.8	-	-	95.88
AOÛT NON DIRIGÉ	6 593	65.9	128	1.3	1 500	15.0	76	0.8	248	2.5	1 128	11.3	327	3.3	100.00
Différence	-4 543	-44.5	-28	-0.3	1 738	18.8	-76	-0.8	2 433	25.5	391	4.5	-327	-3.3	
CARTE 57 633	3 612	37.4	193	2.0	2 444	25.3	200	2.1	2 069	21.4	1 138	11.8	-	-	96.56
AOÛT NON DIRIGÉ	7 427	74.3	51	0.5	1 049	10.5	303	3.0	257	2.6	828	8.3	86	0.9	100.01
Différence	-3 815	-36.9	142	1.5	1 395	14.8	-103	-0.9	1 812	18.8	310	3.5	-86	-0.9	
CARTE 58 633	2 325	23.9	37	0.4	3 475	35.7	275	2.8	2 244	23.1	1 369	14.1	-	-	97.25
AOÛT NON DIRIGÉ	6 870	68.7	82	0.8	1 087	10.9	333	3.3	276	2.8	1 186	11.9	167	1.7	100.01
Différence	-4 545	-44.8	-45	-0.4	2 388	24.8	-58	-0.5	1 968	20.3	183	2.2	-167	-1.7	
CARTE 59 633	4 275	44.7	394	4.1	1 187	12.4	231	2.4	1 825	19.1	1 650	17.3	-	-	95.62
AOÛT NON DIRIGÉ	5 984	59.8	58	0.6	1 914	19.1	139	1.4	282	2.8	1 394	13.9	230	2.3	100.01
Différence	-1 709	-15.1	336	3.5	-727	-6.7	92	1.0	1 543	16.3	256	3.4	-230	-2.3	
CARTE 60 633	3 556	35.8	900	9.0	1 638	16.5	-	-	1 706	17.2	2 131	21.5	-	-	99.31
AOÛT NON DIRIGÉ	3 537	35.4	101	1.0	3 857	38.6	74	0.7	190	1.9	1 942	19.4	298	3.0	99.99
Différence	19	0.4	799	8.0	-2 219	-21.9	-74	-0.7	1 516	15.3	189	2.1	-298	-3.0	
CARTE 56 632	1 937	20.6	44	0.5	4 875	51.8	-	-	2 244	23.9	306	3.2	-	-	94.06
AOÛT NON DIRIGÉ	6 288	62.9	270	2.7	2 570	25.7	32	0.3	144	1.4	212	2.1	484	4.8	100.00
Différence	-4 351	-42.3	-226	-2.2	2 305	26.1	-32	-0.3	2 100	22.5	94	1.1	-484	-4.8	
CARTE 57 632	2 281	23.3	56	0.6	2 963	30.3	906	9.3	2 532	25.9	1 031	10.6	-	-	97.69
AOÛT NON DIRIGÉ	5 510	55.1	276	2.8	1 723	17.2	653	6.5	497	5.0	841	8.4	500	5.0	100.00
Différence	-3 229	-31.8	-220	-2.2	1 240	13.1	253	2.8	2 035	20.9	190	2.2	-500	-5.0	
CARTE 58 632	3 419	34.1	368	3.7	2 256	22.6	1 213	12.1	1 456	14.6	1 288	12.9	-	-	100.00
AOÛT NON DIRIGÉ	5 493	54.9	72	0.7	688	6.9	984	9.8	829	8.3	1 077	10.8	857	8.6	100.00
Différence	-2 074	-20.8	296	3.0	1 568	15.7	229	2.3	627	6.3	211	2.1	-857	-8.6	
CARTE 59 632	3 181	32.4	475	4.8	2 588	26.3	-	-	2 012	20.5	1 569	16.0	-	-	98.25
AOÛT NON DIRIGÉ	3 746	37.4	385	3.9	3 900	39.0	122	1.2	256	2.6	1 188	11.9	403	4.0	100.00
Différence	-565	-5.0	90	0.9	-1 312	-12.7	-122	-1.2	1 756	17.9	381	4.1	-403	-4.0	

Note: Les pourcentages sont donnés pour fin de comparaison seulement. Les surfaces provenant des cartes d'inventaires des cantons furent estimées approximativement à partir de grilles pointillées et tous les calculs ont été arrondis.

TABLEAU 4 – V

CLASSIFICATION VISUELLE DE L'ACCENTUATION D'HIVER COMPARÉE À LA CARTE DES INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD. (Zone UTM 13)	FORÊT – PEUPLÉ ha	FORÊT – PEUPLÉ %	FORÊT – SOUS PEUPLÉ ha	FORÊT – SOUS PEUPLÉ %	EAU ha	EAU %	TOTAUX km²
CARTE 56 636	1 200	11.9	7 606	75.4	1 281	12.7	100.87
ACCENT. D'HIVER	800	8.0	7 700	77.0	1 500	15.0	100.00
Différence	400	3.9	-94	-1.6	-219	-2.3	
CARTE 57 636	3 269	33.2	5 381	54.7	1 188	12.1	98.38
ACCENT. D'HIVER	3 100	31.0	5 700	57.0	1 200	12.0	100.00
Différence	169	2.2	-319	-2.3	-12	0.1	
CARTE 58 636	2 900	29.6	4 813	49.0	2 106	21.4	98.19
ACCENT. D'HIVER	2 300	23.0	5 400	54.0	2 300	23.0	100.00
Différence	600	6.6	-587	-5.0	-194	-1.6	
CARTE 59 636	5 400	54.2	3 200	32.1	1 369	13.7	99.69
ACCENT. D'HIVER	3 700	37.0	4 900	49.0	1 400	14.0	100.00
Différence	1 700	17.2	-1 700	-16.9	-31	-0.3	
CARTE 60 636	2 887	29.5	5 875	60.1	1 019	10.4	97.81
ACCENT. D'HIVER	2 900	29.0	5 900	59.0	1 200	12.0	100.00
Différence	-13	0.5	-25	1.1	-181	-1.6	
CARTE 56 635	1 387	14.3	6 306	65.3	1 969	20.4	96.62
ACCENT. D'HIVER	1 000	10.0	6 900	69.0	2 100	21.0	100.00
Différence	387	4.3	-594	-3.7	-131	-0.6	
CARTE 57 635	4 131	41.8	3 675	37.2	2 075	21.0	98.81
ACCENT. D'HIVER	4 800	48.0	3 300	33.0	1 900	19.0	100.00
Différence	-669	-6.2	375	4.2	175	2.0	
CARTE 58 635	4 900	49.7	3 644	37.0	1 306	13.3	98.50
ACCENT. D'HIVER	4 700	47.0	3 800	38.0	1 500	15.0	100.00
Différence	200	2.7	-156	-1.0	-194	-1.7	
CARTE 59 635	4 206	42.2	4 181	41.9	1 588	15.9	99.75
ACCENT. D'HIVER	4 100	41.0	4 800	48.0	1 100	11.0	100.00
Différence	106	1.2	-619	-6.1	488	4.9	
CARTE 60 635	4 369	44.2	4 225	42.8	1 281	13.0	98.75
ACCENT. D'HIVER	4 600	46.0	4 000	40.0	1 400	14.0	100.00
Différence	-231	-1.8	225	2.8	-119	-1.0	
CARTE 56 634	1 381	14.8	4 744	51.0	3 188	34.2	93.13
ACCENT. D'HIVER	1 300	13.0	5 400	54.0	3 100	31.0	100.00
Différence	-119	-0.2	-656	-3.0	88	3.2	
CARTE 57 634	4 731	47.5	3 819	38.4	1 400	14.1	99.50
ACCENT. D'HIVER	6 000	60.0	2 600	26.0	1 600	16.0	100.00
Différence	-1 269	-12.5	1 419	14.4	-200	-1.9	

CLASSES / QUAD. (Zone UTM 13)	FORÊT – PEUPLÉ ha	FORÊT – PEUPLÉ %	FORÊT – SOUS PEUPLÉ ha	FORÊT – SOUS PEUPLÉ %	EAU ha	EAU %	TOTAUX km²
CARTE 58 634	5 319	53.4	3 662	36.8	975	9.8	99.56
ACCENT. D'HIVER	6 000	60.0	3 000	30.0	1 000	10.0	100.00
Différence	-681	-6.6	662	6.8	-25	-0.2	
CARTE 59 634	5 080	50.3	3 294	33.1	1 656	16.6	99.50
ACCENT. D'HIVER	4 980	49.0	3 300	33.0	1 800	18.0	100.00
Différence	100	1.3	-6	0.1	-144	-1.4	
CARTE 60 634	4 900	49.2	2 675	26.8	2 394	24.0	99.69
ACCENT. D'HIVER	4 200	42.0	3 300	33.0	2 500	25.0	100.00
Différence	700	7.2	-625	-6.2	-106	-1.0	
CARTE 56 633	2 150	22.6	5 919	61.7	1 519	15.9	95.88
ACCENT. D'HIVER	4 300	43.0	4 300	43.0	1 400	14.0	100.00
Différence	-2 150	-20.6	1 619	18.7	119	1.9	
CARTE 57 633	3 805	39.4	4 713	48.8	1 137	11.8	96.56
ACCENT. D'HIVER	5 100	51.0	3 300	33.0	1 600	16.0	100.00
Différence	-1 295	-11.6	1 413	15.8	-463	-4.2	
CARTE 58 633	2 362	24.3	5 994	61.6	1 369	14.1	97.25
ACCENT. D'HIVER	4 100	41.0	4 300	43.0	1 600	16.0	100.00
Différence	-1 738	-16.7	1 694	18.6	-231	-1.9	
CARTE 59 633	4 669	48.8	3 243	33.9	1 650	17.3	95.62
ACCENT. D'HIVER	5 100	51.0	3 100	31.0	1 900	19.0	100.00
Différence	-431	-2.2	143	2.9	-150	-1.7	
CARTE 60 633	4 456	44.9	3 344	33.7	2 131	21.4	99.31
ACCENT. D'HIVER	4 000	40.0	3 500	35.0	2 500	25.0	100.00
Différence	456	4.9	-156	-1.3	-369	-3.6	
CARTE 56 632	1 981	21.1	7 119	75.7	306	3.2	94.06
ACCENT. D'HIVER	2 800	28.0	6 700	67.0	500	5.0	100.00
Différence	-819	-6.9	619	8.7	-196	-1.8	
CARTE 57 632	2 337	23.9	6 401	65.5	1 031	10.6	97.69
ACCENT. D'HIVER	4 700	47.0	3 800	38.0	1 500	15.0	100.00
Différence	-2 363	-23.1	2 601	27.5	469	-4.4	
CARTE 58 632	3 787	37.9	6 925	69.2	1 288	12.9	100.00
ACCENT. D'HIVER	6 200	62.0	2 200	22.0	1 600	16.0	100.00
Différence	-2 413	-24.1	2 775	27.2	-312	-3.1	
CARTE 59 632	3 656	37.2	4 600	46.8	1 569	16.0	98.25
ACCENT. D'HIVER	3 600	36.0	4 700	47.0	1 700	17.0	100.00
Différence	56	1.2	-100	-0.2	-131	-1.0	

Note: Les pourcentages sont indiqués pour fin de comparaison seulement. Les surfaces provenant des cartes d'inventaires des cantons furent estimées approximativement à partir de grilles pointillées et tous les calculs ont été arrondis.
PEUPLÉ = RÉSINEUX/FEUILLUS/BOIS MIXTE SOUS-PEUPLÉ = RÉGÉNÉRATION-BROUSSAILLES/BRÛLIS RÉCENT/SOLS FORESTIERS NON PRODUCTIFS

TABLEAU – VI

CLASSIFICATION VISUELLE DE L'ACCENTUATION D'HIVER/ÉTÉ COMPARÉE À LA CARTE DES INVENTAIRES FORESTIERS

CLASSES / QUAD. (Zone UTM 13)	FORÊT – PEUPLÉ ha	FORÊT – PEUPLÉ %	FORÊT – SOUS PEUPLÉ ha	FORÊT – SOUS PEUPLÉ %	EAU ha	EAU %	TOTAUX km²
CARTE 57 636	3 269	33.2	5 381	54.7	1 188	12.1	98.38
HIVER/ÉTÉ	2 700	27.0	5 900	59.0	1 400	14.0	100.00
Différence	569	6.2	-519	-4.3	-212	-1.9	
CARTE 58 636	2 900	29.5	4 813	49.0	2 106	21.5	98.19
HIVER/ÉTÉ	2 900	29.0	5 000	50.0	2 100	21.0	100.00
Différence	0	0.5	-187	-1.0	6	0.5	
CARTE 59 636	5 400	54.2	3 200	32.1	1 369	13.7	99.69
HIVER/ÉTÉ	3 800	38.0	4 800	48.0	1 400	14.0	100.00
Différence	1 600	16.2	-1 600	-15.9	-31	-0.3	
CARTE 60 636	2 887	29.5	5 875	60.1	1 019	10.4	97.81
HIVER/ÉTÉ	3 100	31.0	5 900	59.0	1 000	10.0	100.00
Différence	-213	-1.5	-25	1.1	19	0.4	
CARTE 57 635	4 131	41.8	3 675	37.2	2 075	21.0	98.81
HIVER/ÉTÉ	4 700	47.0	3 300	33.0	2 000	20.0	100.00
Différence	-569	-5.2	375	4.2	75	1.0	
CARTE 58 635	4 900	49.7	3 644	37.0	1 306	13.3	98.50
HIVER/ÉTÉ	4 400	44.0	4 200	42.0	1 400	14.0	100.00
Différence	500	5.7	-556	-5.0	-94	-0.7	
CARTE 59 635	4 206	42.2	4 181	41.9	1 588	15.9	99.75
HIVER/ÉTÉ	4 600	46.0	4 300	43.0	1 100	11.0	100.00
Différence	-394	-3.8	-119	-1.1	488	4.9	
CARTE 60 635	4 369	44.2	4 225	42.8	1 281	13.0	98.75
HIVER/ÉTÉ	5 000	50.0	3 700	37.0	1 300	13.0	100.00
Différence	-631	-5.8	525	5.8	-19	0.0	
CARTE 57 634	4 731	47.5	3 819	38.4	1 400	14.1	99.50
HIVER/ÉTÉ	5 600	56.0	3 100	31.0	1 300	13.0	100.00
Différence	-869	-8.5	719	7.4	100	1.1	
CARTE 58 634	5 319	53.4	3 662	36.8	975	9.8	99.56
HIVER/ÉTÉ	5 800	58.0	3 200	32.0	1 000	10.0	100.00
Différence	-481	-4.6	462	4.8	-25	-0.2	
CARTE 59 634	5 000	50.3	3 294	33.1	1 656	16.6	99.50
HIVER/ÉTÉ	4 700	47.0	3 500	35.0	1 800	18.0	100.00
Différence	300	3.3	-206	-1.9	-144	-1.4	
CARTE 60 634	4 900	49.2	2 675	26.8	2 394	24.0	99.69
HIVER/ÉTÉ	4 100	41.0	3 400	34.0	2 500	25.0	100.00
Différence	800	8.2	-725	-7.2	-106	-1.0	
CARTE 57 633	3 805	39.4	4 713	48.8	1 137	11.8	96.56
HIVER/ÉTÉ	4 900	49.0	3 900	39.0	1 200	12.0	100.00
Différence	-1 095	-9.6	813	9.8	-63	-0.2	
CARTE 58 633	2 362	24.3	5 994	61.6	1 369	14.1	97.25
HIVER/ÉTÉ	4 400	44.0	4 000	40.0	1 600	16.0	100.00
Différence	-2 038	-19.7	1 994	21.6	-231	-1.9	
CARTE 59 633	4 669	48.8	3 243	33.9	1 650	17.3	95.62
HIVER/ÉTÉ	5 100	51.0	3 000	30.0	1 900	19.0	100.00
Différence	-431	-2.2	243	3.9	-250	-1.7	
CARTE 60 633	4 456	44.9	3 344	33.7	2 131	21.4	99.31
HIVER/ÉTÉ	4 100	41.0	3 700	37.0	2 200	22.0	100.00
Différence	356	3.9	-356	-3.3	-69	-0.6	

Note: Les pourcentages sont indiqués pour fin de comparaison seulement et les surfaces des cartes d'inventaires sont estimées approximativement à partir de grilles pointillées.
PEUPLÉ = RÉSINEUX/FEUILLUS/BOIS MIXTE SOUS PEUPLÉ = RÉGÉNÉRATION-BROUSSAILLES/BRÛLIS/SOLS IMPRODUCTIFS

Appendice 5

GLOSSAIRE DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES TERMES CARTOGRAPHIQUES UTILISÉS DANS LES INVENTAIRES DES RESSOURCES

Z.D. Kalensky

ACCENTUATION DES IMAGES Manipulation des images au cours de leur traitement (photographique ou numérique) afin d'accroître la détectabilité et/ou l'interprétabilité des caractéristiques enregistrées de la scène.

L'accentuation des images photographiques est fondée sur la manipulation des contrastes au cours du traitement de l'émulsion.

L'accentuation des images numériques est fondée sur la transformation des valeurs spectrales des images selon un algorithme déterminé d'accentuation tel que l'accentuation des lignes limitrophes, l'augmentation des contrastes, ou la transformation des composantes principales, au cours du traitement par ordinateur des images numériques.

APPAREIL DE CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE (Thematic Mapper) Balayeur multispectral de pointe constituant le principal système de télédétection prévu pour Landsat-D (lancement en 1982). L'appareil de cartographie thématique enregistrera la scène terrestre simultanément dans sept bandes spectrales, six dans le visible et le presqu'infrarouge et une dans les parties de l'infrarouge thermique du spectre électromagnétique. Sa résolution nominale au sol sera de 30 m × 30 m pour les bandes du visible et du presqu'infrarouge et de 120 m × 120 m dans la bande de l'infrarouge thermique.

Voir également BALAYEUR MULTISPECTRAL

ARIES (A Resource Image Exploitation System) Système évolué de traitement des images numériques mis au point pour le Service canadien des forêts par Computing Devices Company en 1976-78. La société mise sur pied par les concepteurs du système ARIES, DIPIX, en a poursuivi la mise au point.

Le système de base ARIES comprend un mini-ordinateur DEC PDP-11/40 avec mémoire principale de 96 kilomots, complétée par un processeur microprogrammable qui augmente de 100 fois la vitesse de traitement des images numériques.

L'utilisation d'un écran de télévision couleur CONRAC permet d'obtenir des graphiques interactifs. Un disque de 88 millions d'octets peut stocker jusqu'à trois scènes Landsat, chacune comprenant quatre bandes multispectrales.

Un système numérique de photographie couleur DICOMED sert à reproduire les images sur film. Le matériel périphérique comprend un visuel graphique TEKTRONIX et une imprimante graphique VERSATEC.

AUGMENTATION DES CONTRASTES DE L'IMAGE Technique d'accentuation des images numériques fondée sur l'allongement de la répartition des données spectrale dans la partie non utilisée de la gamme des luminosités. Les données multispectrales Landsat enregistrées sur rubans pour ordinateurs ont une gamme de luminosité ayant 256 niveaux d'intensité. Environ la moitié seulement de cette gamme est utilisée de manière effective par les données-images non accentuées.

BALAYEUR MULTISPECTRAL (MSS) Réseau de capteurs à balayage linéaire qui détectent et quantifient le rayonnement électromagnétique simultanément dans plusieurs bandes spectrales. Le balayage dans le sens de la trajectoire de vol se fait par le biais du mouvement de l'engin spatial (ou de l'aéronef). Le balayage orthogonal à la trajectoire de vol se fait par oscillation (ou rotation) d'un miroir. Les MSS de Landsat-1 et Landsat-2 ont quatre bandes spectrales dont les largeurs sont les suivantes: 0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.7-0.8, et 0.8-1.1 micromètres respectivement. Une cinquième bande dans l'infrarouge thermique de l'intervalle spectral 10.4 à 12.6 micromètres a été insérée dans le balayeur multispectral de Landsat-3.

La résolution nominale au sol des bandes visibles du MSS est de 80 m × 80 m, celle de la bande thermique est de 240 m × 240 m.

Voir également APPAREIL DE CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE.

BIT Acronyme de l'anglais "binary" et "digit". C'est la plus petite unité d'information ne pouvant prendre que deux valeurs distinctes: 0 et 1. Elle forme la base du système des nombres binaires.

Voir également BYTE et MOT MACHINE.

BYTE Le plus petit nombre de chiffres binaires contigus (bits) encore adressables par un ordinateur. Il est généralement plus court qu'un mot machine. Dans certains ordinateurs récents, un byte est formé de huit bits contigus (octet).

Voir également BIT et MOT MACHINE.

CARTE Représentation générale d'une surface terrestre définie géométriquement, de ses caractéristiques, de son utilisation et de sa couverture sur un plan de référence. La représentation peut être graphique, photographique, ou numérique.

Voir également CARTE DE BASE, CARTE NUMÉRIQUE, ORTHOPHOTOCARTE, et CARTE THÉMATIQUE DES RESSOURCES.

CARTE DE BASE Toute carte servant de base de présentation et de référence géométrique pour les données thématiques interprétées à partir des images télédétectées tels que les photographies aériennes, les images prises par radar aéroporté à antenne latérale (SLAR), et les images prises par satellites. La carte de base est généralement formée par agrandissement d'une carte topographique à l'échelle du manuscrit cartographique thématique. Son exactitude horizontale et verticale n'a pas à être de l'ordre des normes relatives aux cartes topographiques, mais elle doit être compatible avec l'exactitude des données thématiques.

Les orthophotocartes sont les meilleures cartes de base parce qu'elles combinent l'exactitude d'une carte topographique avec l'abondance des détails photographiques qui facilitent la position et le transfert des données thématiques.

Voir également ORTHOPHOTOCARTE et CHAMBRE MÉTRIQUE.

CARTE NUMÉRIQUE Carte représentant la surface du sol et ses caractéristiques sous forme numérique, c'est-à-dire par coordonnées et descripteurs numériques. Ces données sont stockées sur rubans ou disques magnétiques pour ordinateurs.

Voir également CARTE.

CARTE THÉMATIQUE DES RESSOURCES Représentation et description géométrique généralisée d'une ressource donnée comme la forêt ou les sols. Les données thématiques sont soit surimprimées sur une photocarte de base, soit digitalisées et exprimées par leurs coordonnées et leurs descripteurs numériques. Cette dernière, la carte thématique numérique, est stockée sur ruban ou disque magnétique pouvant être traité par ordinateur.

CHAMBRE MÉTRIQUE Appareil photogrammétrique aérien qui permet la reconstruction précise du point de vue géométrique de la scène à partir de ses photographies stéréoscopiques. Une chambre métrique fera partie de la charge utile du laboratoire satellite habité Spacelab à bord de la navette spatiale qui doit être lancée en 1981.

La photographie par chambre métrique permet de produire des cartes photographiques à partir d'un nombre inférieur de photographies spatiales. Une seule photographie métrique spatiale remplacera une mosaïque composée de nombreuses photographies aériennes. Elle aura au moins la même précision géométrique et une qualité d'images bien supérieure.

Voir également CARTE DE BASE.

CLASSIFICATION DES IMAGES Catégorisation des images en classes de valeurs spectrales ayant des caractéristiques semblables (valeurs numériques des radiances dans les images Landsat/MSS enregistrées sur rubans pour ordinateur, ou densité et teintes des couleurs des images photographiques) et/ou en classes de valeurs spatiales (texture, configuration, dimension et forme). La classification peut être manuelle, fondée sur l'apparence visuelle de l'image (comme en photo interprétation), ou analytique, fondée sur le traitement des images numériques assisté par ordinateur.

Voir également CLASSIFICATION DIRIGÉE et CLASSIFICATION NON DIRIGÉE.

CLASSIFICATION DIRIGÉE Différentiation et identification des classes d'intérêt à partir de données d'images numériques et effectués par ordinateur en prenant comme base de décision des échantillons d'entraînement identifiés manuellement (données de terrain) pour chaque classe. La fonction discriminatrice compare les valeurs spectrales des pixels aux statistiques obtenues pour les échantillons d'entraînement et assigne les pixels à la classe qui convient le mieux. Les fonctions discriminatrices les plus souvent utilisées aux fins de la classification dirigée sont la règle de la vraisemblance maximale et le parallélépipède rectangulaire.

Voir l'appendice 3.

CLASSIFICATION NON DIRIGÉE DES IMAGES Catégorisation par ordinateur des données d'images numériques fondée uniquement sur les statistiques sans la disponibilité d'échantillons d'entraînement (données connues au sol). Le nombre de classes (groupements de données) correspond aux crêtes importantes des histogrammes exprimant la fréquence d'occurrence des pixels en fonction de leurs valeurs spectrales. La fonction discrimatrice, comme l'algorithme de distance minimale, classe les pixels dans les catégories où ils vont le mieux (catégories les plus probables).

CORRECTION GÉOMÉTRIQUE DES IMAGES Modification de la géométrie de l'image en vue de réduire les distorsions qui sont causées par les variations des paramètres orbitaux de la plate-forme de télédétection (aéronef, satellite), par les imperfections du capteur (e.g. distorsions causées par l'objectif de la caméra ou par un balayage non uniforme), et par la scène (e.g. distorsions des photographies aériennes causées par la topographie, ou obliquité des images Landsat/MSS causée par la rotation du globe).

Les corrections générales sont fondées sur les paramètres prévus (nominaux) relatifs aux orbites, aux capteurs et à la scène. Les corrections de précision sont fondées sur la transformation de l'image en un système de référence défini géométriquement (comme une carte topographique) par l'intermédiaire de points de contrôle.

Voir également TRANSFORMATION.

CORRECTION RADIOMÉTRIQUE DES IMAGES Calibrage des valeurs de radiance enregistrées réfléchies (ou émises) par la scène terrestre.

Le calibrage radiométrique des images photographiques aériennes est fondé sur l'emploi de coins sensitométriques exposés sur l'émulsion. À partir de ces derniers, on calcule les courbes caractéristiques qui établissent un rapport entre les densités des images à différents niveaux et les valeurs d'exposition des images.

Le calibrage radiométrique des images du balayeur multispectral/Landsat est fondé sur l'utilisation d'un filtre réducteur neutre variable (semblable au coin sensitométrique photographique) et d'une lampe de calibrage interne. Les valeurs variables d'intensité lumineuse provenant de ce système de calibrage interne sont enregistrées au cours du retour du miroir de balayage. Ainsi, le flux de données vidéo des radiances du sol comporte, à intervalles réguliers, des données vidéo d'étalonnage. Ces dernières sont utilisées pour corriger les distorsions radiométriques des données vidéo et pour compenser les différences de gain (sensibilité) entre les six détecteurs de la même bande spectrale.

DONNÉES CONNUES AU SOL OU DONNÉES DE TERRAIN Ensemble de données de référence décrivant des parties de la scène avec assez de précision pour calibrer les données de télédétection et pour évaluer les résultats du calibrage. Plus particulièrement, elles sont nécessaires en vue du choix des zones d'entraînement et d'évaluation au cours de la classification dirigée des images.

Malgré la désignation qu'on leur donne, elles ne sont pas souvent fondées sur un examen réel du terrain. La précision des données doit être au moins légèrement supérieure à celle de l'ensemble des données de télédétection à calibrer. De ce fait, les photographies aériennes à faible échelle (approximativement 1:50 000) fournissent une précision suffisante aux fins du calibrage des données relatives aux images multispectrales des satellites et aux fins de vérification des résultats de leur classification.

La nécessité des données connues au sol dépend de l'objectif visé, des contraintes économiques, des caractéristiques de la scène, de la qualité des données de télédétection et de l'expérience des analystes d'images. Les données connues au sol devraient être distribuées au hasard et inclure toutes les classes visées. Leur qualité influe grandement sur la qualité et l'utilité des résultats finals.

Voir également CLASSIFICATION DIRIGÉE.

GRILLE DE COORDONNÉES UTM (projection universelle transverse de Mercator) Grille rectangulaire basée sur la projection de Mercator transverse en employant des zones de 6° de largeur. La longitude de l'origine des coordonnées est le méridien central de chaque zone. La latitude de l'origine des coordonnées est de 0° (l'Équateur).

Afin d'éliminer les valeurs négatives des coordonnées (abscisses des points dans les moitiés ouest des zones), toutes les coordonnées des abscisses sont augmentées d'une constante de 500 000 m. De la même façon, toutes les coordonnées des ordonnées des points dans l'hémisphère sud sont augmentées d'une constante de 10 000 000 m.

La grille des coordonnées UTM n'est pas utilisée au-delà de 84° de latitude nord ou en deça de 80° de latitude sud. Les zones polaires se rapportent à la grille des coordonnées UPS.

Les zones UTM sont limitées par les méridiens dont les longitudes sont des multiples de 6° à l'ouest ou à l'est de Greenwich.

Voir également PROJECTION UNIVERSELLE TRANSVERSE DE MERCATOR.

HISTOGRAMME Représentation graphique ou numérique de la fréquence de rencontre des éléments (pixel) dans un ensemble de données (image numérique).

L'histogramme exprime une fréquence d'occurrence d'éléments individuels de l'ensemble de données comme fonction de leurs valeurs.

IMAGE MULTIDATATIONNELLE Un ensemble d'images de la même scène enregistrées à différentes dates. Les modifications de la scène avec le temps, telles qu'elles sont enregistrées par les images prises à différentes dates, facilitent l'interprétation des classes de végétation et la classification de l'utilisation des terres, et permettent également d'établir le périmètre des phénomènes dynamiques comme les inondations, les feux de forêts et les glissements de terrain.

IMAGES MULTISPECTRALES Un ensemble d'images (photographiques ou numériques) enregistrées dans différentes bandes spectrales. Par exemple, les images multispectrales transmises par Landsat-1 et Landsat-2 furent enregistrées dans les quatre bandes spectrales suivantes: 500-600 nm (vert); 600-700 nm (rouge); 700-800 nm (proche infrarouge I); 800-1100 nm (proche infrarouge II).

IMAGE NUMÉRIQUE Représentation spatiale et spectrale d'une scène par une série de numéros, chacun représentant un élément de résolution de l'image (élément d'image ou pixel). Les numéros sont codés et enregistrés sur rubans ou disques magnétiques. La position d'un numéro (pixel) dans l'ensemble des données numériques détermine ses coordonnées spatiales alors que sa valeur détermine sa caractéristique spectrale.

IMAGES THÉMATIQUES Images résultantes d'une interprétation (catégorisation) des données. Elles sont le principal produit fini du traitement des images numériques. La reproduction sur film (généralement en couleur) des données catégorisées d'images numériques est effectué par des systèmes numériques de photographie tels DICOMED ou OPTRONICS.

LANDSAT Land satellite. Premier d'une série de satellites préposés à la levée des ressources terrestres, Landsat-1 fut lancé en 1972; Landsat-2 fut mis en orbite en 1975 et Landsat-3 en 1978. Landsat-D (qui s'appellera Landsat-4 après son lancement) doit être mis en orbite en 1982.

Landsats 1, 2, et 3 sont en orbite quasi polaire à 900 km d'altitude. Leur charge utile comprend deux systèmes: le balayeur multispectral (MSS) et le vidicon à retour de faisceau (RBV).

Voir également BALAYEUR MULTISPECTRAL.

MOT MACHINE Groupe de chiffres binaires (bits) formant une unité addressable dans une mémoire d'ordinateur. Dans les gros ordinateurs, il est généralement formé de 32 bits, et dans les mini-ordinateurs, de 16 bits.

Voir également BIT et BYTE.

MSS Voir BALAYEUR MULTISPECTRAL.

ORTHOPHOTOCARTE Photocarte géométriquement précise. Dans les zones planes, on peut faire une simple rectification du plan pour produire une orthophotocarte à partir de photographies aériennes verticales. Dans les zones vallonnées et montagneuses, une technique photogrammétrique spéciale, appelée redressement différentiel, doit être exploitée aux fins de la production d'orthophotocartes.

L'orthophotocarte constitue une carte de base idéale pour la cartographie thématique des ressources, parce qu'elle combine précision géométrique avec une apparence semblable aux photographies.

Voir également CARTE DE BASE et CHAMBRE MÉTRIQUE.

PHOTOGRAMMÉTRIE Science consistant à enregistrer des images définies géométriquement, à reconstruire des modèles projectifs de la scène et à mesurer leurs dimensions métriques. Les méthodes exploitées sont analogiques et/ou analytiques. On emploie surtout la photogrammétrie en cartographie topographique.

PIXEL (Picture element). Un pixel représente la surface au sol correspondant à un seul nombre d'un ensemble de données relatives aux images numériques.

Sa dimension est déterminée par le champ instantané de prise de vue du capteur; elle est de 80 m × 80 m dans le cas des bandes visuelles et presqu'infrarouge du balayeur multispectral de Landsat-1, de Landsat-2 et de Landsat-3. Sa valeur représente l'intensité moyenne du rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis de la surface d'un pixel dans la bande spectrale enregistrée par un capteur donné. Le rayonnement réfléchi de la lumière du jour enregistré dans les bandes visuelles et presqu'infrarouge du balayeur multispectral de Landsat-1, 2, et 3 est codé en 8 bits sur ruban pour ordinateur, ce qui donne une gamme de 0-255 pour les valeurs des pixels.

POINT DE CONTRÔLE Point bien défini qui peut être identifié par ses coordonnées aussi bien sur l'image que parmi les données connues au sol.

PROJECTION SUR CARTE Représentation définie mathématiquement d'une partie de la surface terrestre sur un plan de référence. Elle est à la base du système de coordonnées des cartes.

Voir également GRILLE DE COORDONNÉES UTM.

PROJECTION UNIVERSELLE TRANSVERSE DE MERCATOR (UTM) Projection de l'ellipsoïde de la terre sur une surface de cylindres transversaux (axés dans le plan équatorial) enveloppant la terre à des intervalles de longitude de 6°. Ainsi donc, il faut 60 cylindres de référence pour projeter 60 segments ellipsoïdaux de 6° de largeur représentant tout le globe. Afin de réduire des distorsions découlant de la représentation d'une ellipsoïde par une série de segments cylindriques, le diamètre des cylindres de référence fut réduit par un facteur d'échelle de 0.9996. Conséquemment, les zones situées le long des méridiens centraux dans chacun des segments cylindriques ont de faibles distorsions négatives (l'échelle de la carte est moins grande que l'échelle nominale) parce que ces parties des cylindres de référence sont sous la surface de l'ellipsoïde de la terre. D'autre part, les zones situées le long des marges des segments cylindriques ont de légères distorsions positives (l'échelle de la carte est moins grande que l'échelle nominale) parce que ces parties du cylindre de référence sont au-dessus de l'ellipsoïde de la terre. La projection cartographique UTM est conformelle, ce qui signifie que les angles, et de là les formes, sont correctement représentés.

La projection cartographique UTM sert de base à la grille des coordonnées UTM.

Voir également GRILLE DE COORDONNÉES UTM.

RBV VOIR VIDICON À RETOUR DE FAISCEAU.

RUBAN POUR ORDINATEUR Ruban magnétique standard, de 2 400 pieds de longueur, d'un demi-pouce de largeur, sur lequel les données binaires sont enregistrées

par magnétisation sélective de certaines parties de sa surface. Les rubans Landsat sont disponibles en 7 ou en 9 pistes avec densité d'enregistrement de 800 ou de 1 600 bpi (bytes par pouce). Les données des quatre bandes multispectrales Landsat peuvent être enregistrées sur un ruban standard ayant 9 pistes et une densité de 1 600 bpi.

SIGNATURE SPECTRALE Distribution particulière du rayonnement électromagnétique émis et/ou réfléchi qui identifie la classe visée – essence forestière, culture agricole, type de sol, etc. Les signatures spectrales, particulièrement celles qui sont relatives à la végétation, sont en fonction du temps et du lieu géographique.

TÉLÉDÉTECTION Science qui consiste à enregistrer, à analyser et à interpréter des images aux fins d'identification de la scène visée ou de ses paramètres. Les méthodes sont analogiques et/ou analytiques. Les principales applications de la télédétection sont dans les inventaires à faible ou à moyenne échelle de la végétation et de l'utilisation des terres, dans la cartographie et le contrôle des modifications de l'environnement.

TRAITEMENT DES IMAGES NUMÉRIQUES OU TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES Traitement, par ordinateur, des ensembles de données relatives aux images numériques. Un tel traitement comprend les corrections géométriques et radiométriques, les transformations géométriques, le ré-échantillonnage et la recomposition des images, l'accentuation et la classification des images, la planimétrie et l'exactitude des résultats de la classification, les reproductions numériques, graphiques ou photographiques, etc.

TRAITEMENT INTERACTIF DES IMAGES NUMÉRIQUES Mode de traitement par ordinateur qui permet à l'opérateur d'intervenir et de modifier le traitement au cours de l'exécution d'un programme. La liaison directe entre l'opérateur et l'ordinateur se fait généralement par terminal vidéo (un visuel) capable de fournir des sorties graphiques. Contrôlé par un manche à balai, une boule roulante, une tablette graphique ou un photostyle, il permet l'introduction de nouvelles données et/ou de modifications des résultats présentés.

TRANSFORMATION AFFINE Modification de la géométrie de l'image pour se conformer à un système cartographique donné en utilisant les fonctions mathématiques suivantes:

$$u_i = a_o + a_1 x_i + a_2 y_i$$

$$v_i = b_o + b_1 x_i + b_2 y_i$$

On peut déterminer les coefficients de transformations a et b si l'on a au moins trois points de contrôle C_i (u_i, v_i, x_i, y_i) dont les coordonnées sont connues dans les deux systèmes.

Puisque la transformation affine exploite des fonctions de transformation linéaire, on peut l'utiliser seulement si les lignes parallèles dans l'image sont également parallèles dans le système de référence. Cette condition existe seulement dans une zone relativement petite de la scène Landsat/MSS. Ses dimensions dépendent de la quantité de distortion encourue, mais généralement la transformation des scènes secondaires Landsat/MSS supérieures à 2 500 km² nécessite un ordre plus grand de transformation.

Voir TRANSFORMATION DES POLYNOMES.

TRANSFORMATION DES COMPOSANTES PRINCIPALES Technique d'accentuation des images numériques fondée sur la transformation des valeurs de radiance spectrale des ensembles originaux de données relatives aux images en de nouveaux ensembles de données n'ayant aucune corrélation entre eux. L'analogie géométrique est une transformation d'un ensemble de données en un nouveau système de coordonnées qui correspond mieux à la configuration de l'ensemble original, ce qui minimise ses écarts types dans tous les plans. Après une transformation des composantes principales, un ensemble de données peut être représenté par un nombre inférieur de dimensions sans perte d'information pertinente. Voir l'appendice 2.

TRANSFORMATION DES COORDONNÉES Changement d'un système de coordonnées à un autre selon une fonction mathématique exprimant un rapport géométrique entre les deux systèmes. Elle nécessite généralement le glissement et la rotation des axes de coordonnées du système transformé et un changement de l'échelle. Par exemple, la transformation de coordonnées d'image (lignes et pixels) en un système de coordonnées cartographiques.

TRANSFORMATION DE L'IMAGE Changement analytique ou analogique de la géométrie de l'image afin qu'elle corresponde à un système de référence (par exemple carte de base). Elle se fait par l'intermédiaire de points de contrôle identifiés sur l'image et dans le système de référence. L'exactitude de la transformation de l'image dépend du type de fonction de transformation et de l'exactitude des points de contrôle.

TRANSFORMATION DES POLINOMES Changement de la géométrie de l'image afin qu'elle soit conforme à un système donné de coordonnées cartographiques en utilisant les fonctions mathématiques suivantes:

$$u_i = a_o + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i + \cdots$$

$$v_i = b_o + b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_4 y_i^2 + b_5 x_i y_i + \ldots$$

Les coefficients de transformation a et b sont déterminés à partir des points de contrôle $C_i(u_i, v_i, x_i, y_i)$ dont les coordonnées sont connues dans les deux systèmes. Des

questions d'ordre pratique (exactitude nécessaire, nombre des points de contrôle) nous limitent généralement à une transformation des polynômes du deuxième degré. Pour un degré donné, l'exactitude de la transformation dépend de l'exactitude des points de contrôle.

UTM Voir GRILLE DE COORDONNÉES UTM et PROJECTION UNIVERSEL TRANSVERSE DE MERCATOR (UTM).

VIDICON À RETOUR DE FAISCEAU (RBV) Caméra électro-optique. L'image optique est concentrée sur son détecteur photosensible puis balayée par un faisceau électronique. La force des signaux électriques qui en résultent est proportionnelle à l'intensité de l'exposition. Ainsi donc, l'image optique peut être reconstituée à partir des tensions de sortie du RBV. Landsat 1 et 2 comportaient chacun trois caméras vidicon à retour de faisceau fonctionnant dans les bandes spectrales suivantes: 475-575 nm, 580-680 nm et 698-830 nm. La dimension nominale de leurs éléments de résolution au sol était de 80 m X 80 m. Landsat 3 ne comporte que deux caméras RBV qui fonctionnent dans la même bande spectrale (505-570 nm), mais qui fournissent une imagerie à double échelle, la dimension nominale de l'élément de résolution au sol étant de 40 m X 40 m.

D'autres glossaires portant sur les termes utilisés en télédétection font partie des publications choisies dont les titres figurent ci-dessous:

Bonnor, G.M. (éd.). 1978. A guide to Canadian forest inventory terminology and usage. 2nd ed. Can. For. Inventory Comm., For. Manage. Inst., Environment Canada, Ottawa, Ont., 57 pp.

Haralick, R.M. 1973. Glossary and index to remotely sensed image pattern recognition concepts. Pattern Recognition 5(4):391-403.

Harding, F.A., et R.B. Scott. 1978. Forest inventory with Landsat. Phase II. Washington forest productivity study. Dept. of Natur. Resour., State of Washington, U.S.A., 221 pp.

Reeves, R.G., A. Anson, et D. Landen (éd.). 1975. Manual of remote sensing. Amer. Soc. Photogramm., Falls Church, Va., U.S.A., 2144 pp. (2 vols.).

Rosenberg, P., K.E. Erickson, et G.C. Rowe. 1974. Digital mapping glossary. Keuffel & Esser Co., Morristown, N.J., U.S.A., 59 pp.

Smith, J.T., Jr., et A. Anson (éd.). 1968. Manual of color aerial photography. Amer. Soc. Photogramm., Falls Church, Va., U.S.A., 550 pp.

Swain, P.H., et S.M. Davis (éd.). 1978. Remote sensing: The quantitative approach. McGraw-Hill, New York, N.Y. 396 pp.

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Canada